

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

*ALLAH Le Tout Miséricordieux qui par sa grâce, a rendu
possible l'accomplissement de ce travail*

*Nos parents qui n'ont ménagé aucun effort pour nos
éducations et notre formation*

*Toute la famille, pour le soutien dont ils ont toujours fait preuve à
mon égard.*

*Un grand merci aussi à tous les amis qui nous ont soutenu et
encouragée dans notre démarche*

Remerciements

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à Mr Maghraoui Nabil pour son disponibilité et pour avoir donné une très grande autonomie pour mener ce projet. Je tiens à remercier aussi toute personne qui a aidé à réaliser ce projet. Ainsi, mes sincères et chaleureux remerciements s'adressent aussi à Messieurs les membres de jury, pour avoir bien accepté d'évaluer et de juger ce travail. Que toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, trouve ici l'expression de notre grande reconnaissance.

Sommaire

Sommaire.....	3
Table des figures.....	5
Table des tableaux.....	6
INTRODUCTION GENERALE.....	7
Chapitre 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	9
Partie 1 : Généralités sur les photobioréacteurs.....	9
1. 1. Introduction.....	9
1. 2. Qu'est-ce qu'un photobioréacteur ?.....	9
1. 3. Le principe de fonctionnement d'un photobioréacteur.....	9
1. 4. La lumière et le photobioréacteur.....	9
1. 5. L'hydrodynamique au sein des photobioréacteurs.....	10
1. 6. Les formes géométriques les plus courantes.....	11
1. 6. 1. Les photobioréacteurs plats.....	11
1. 6. 2. Les photobioréacteurs cylindriques.....	11
1. 7. Caractéristiques des principaux types de photobioréacteurs.....	14
1. 7. 1. Eclairage.....	14
1. 7. 2. Régulation.....	14
1. 8. Techniques d'agitation et de mise en circulation.....	15
I. 8. 1. Description des systèmes d'agitation.....	15
Partie 2 : les Microalgues.....	16
2. 1. Introduction.....	16
2. 2. Définition des microalgues.....	16
2.3. Photosynthèse.....	17
2. 4. Techniques de mise en culture.....	18
2. 4. 1. Différents modes de production de biomasse micro-algale.....	18
2. 5. Influence du milieu.....	19
2.6. Mélange.....	19
2. 7. Sélection des algues.....	20
Conclusion.....	20
Chapitre 2 : Analyse fonctionnelle et Problématique.....	22
1 . Introduction :.....	22
2. Client :.....	22
3.Recherche du besoin fondamental :.....	22
4. Identification des besoins :.....	23

5. Identification des fonctions :.....	23
5.1. La conversion des besoins en fonctions :.....	23
5.2. Méthode RESEAU :.....	24
Recherche intuitive :.....	24
Examen d'environnement :.....	25
Méthode SAFE :.....	25
6. Création de l'arbre fonctionnel :.....	26
7. Conclusion.....	28
Chapitre 3 : MAQUETTE D'ETUDE ET INSTRUMENTATION.....	29
1.Introduction.....	29
2. Spécifications de la maquette.....	29
3.Nomenclature des pièces de la maquette.....	29
3.1. Support :.....	29
3.1.1. Description :.....	29
3.1.2.vue 3D :.....	29
3.2. Aquarium :.....	30
3.2.1.Vue 3D :.....	30
3.3. Couvercle :.....	30
3.3.1.Vue 3D.....	30
3.4. Mobile d'agitation :.....	30
3.4.1. Vue 3D :.....	31
3.5. L'injecteur :.....	31
3.5.1. Vue 3D :.....	31
3.6. Autres composants :.....	31
3.7. Assemblage :.....	32
4. Les équipements périphériques de la maquette d'étude :.....	33
4.1. Mesure de la température lors des cultures :.....	33
4.1.1. Matériel requis:.....	33
4.1.2. Simulation :.....	33
4.1.3.code arduino :.....	34
4.2. Contrôle CO2 :.....	36
4.2.1. Description :.....	36
4.2.2. Matériel requis:.....	36
4.2.3. Simulation.....	37
4.2.4 code arduino :.....	37
4.3. Commande des lampes et du moteur :.....	38
4.3.1.Description :.....	38

4.3.2. Matériel requis:.....	38
4.3.3. Simulation :.....	38
4.3.4. code arduino :.....	39
4.4. Contrôle PH :.....	40
5. Conclusion.....	41
Conclusion générale.....	42
Bibliographie.....	43
Annexes.....	44

Table des figures

Figure 1: Photobioréacteur de type plat.....	11
Figure 2: Photobioréacteur de type colonne.....	12
Figure 3: Photobioréacteur de type annulaire.....	13
Figure 4: Photobioréacteur tubulaire agencé horizontalement.....	13
Figure 5: Photobioréacteur « Biocoil ».....	14
Figure 6: La photosynthèse - Réaction globale.....	17
Figure 7: Bassin raceway.....	18
Figure 8: Diagramme Bête-à-corne définissant le besoin ou la fonction d'usage.....	22
Figure 9: support.....	29
Figure 10: mise en plant du support.....	30
Figure 11: aquarium.....	31
Figure 12: mise en plan de l'aquarium.....	31
Figure 13: couvercle.....	32
Figure 14: mise en plant du couverture.....	32
Figure 15: Agitateur.....	33
Figure 16: mise en plant de l'agitateur.....	33
Figure 17: Injecteur.....	34
Figure 18: Mise en plant.....	35
Figure 19.....	35
Figure 20: Moteur.....	36
Figure 21: Sonde.....	36
Figure 22: support Lampe.....	36
Figure 23: support motour.....	36
Figure 24: Assemblage.....	37
Figure 25: ds18b20 sensor.....	37
Figure 26: simulation du capteur température avec arduino.....	38
Figure 27: simulation d'un detecteur CO2.....	41
Figure 28: simulation de circuit d'agitation et d'éclairage.....	43
Figure 29: capteur pH.....	45

Table des tableaux

Tableau 1: Comparaison des avantages et inconvénients des bassins de type raceway et des photobioréacteurs.....	19
Tableau 2: Besoins retenus par la méthode qualitative.....	22
Tableau 3: Fonctions déterminées par la conversion des besoins en fonctions.....	23
Tableau 4: Fonctions déterminées par la méthode intuitive.....	24
Tableau 5: Fonctions déterminées par l'examen d'environnement.....	24
Tableau 6: Fonctions déterminées par la méthode SAFE.....	25
Tableau 7: Fonctions classées dans l'arbre Fonctionnel.....	25

INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, les problèmes environnementaux (pollution, concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère), et énergétiques (raréfaction des sources fossiles et augmentation de la consommation énergétique) amènent à réfléchir à de nouvelles sources autres que les sources fossiles pour la production d'énergie. La biomasse, et plus particulièrement les êtres photosynthétiques sont regardés avec intérêt pour leur capacité à produire de l'énergie (biocarburant) et à fixer le dioxyde de carbone. Les microalgues ont eu un récent gain d'intérêt par rapport aux autres biomasses du fait de la productivité de leur photosynthèse comparée aux cultures terrestres, de leur très gros potentiel pour la production de biodiesel et de leurs nombreuses applications. Les microalgues pourraient donc être une partie de la solution aux problèmes énergétiques et environnementaux actuels. Les microalgues ont de nombreuses applications. Elles sont actuellement cultivées de manière industrielle pour les industries de la nutrition animale et pour l'alimentation humaine. Elles sont productrices de nombreuses molécules à haute valeur ajoutée (oméga 3, bêta-carotène, antioxydant) utilisées dans les industries pharmaceutiques et cosmétiques. Les microalgues suscitent aujourd'hui un grand intérêt pour la production à grande échelle de biocarburant algal (biodiesel, bio huile, bio hydrogène). Mais la production de microalgues pour ces applications ne sont viables à grande échelle sur différents aspects (économique, énergétique et environnemental) que si la production d'algues est conçue par une vision systémique. En l'occurrence, par un couplage avec le traitement des eaux usées (pour réduire la pression sur l'usage de l'eau et l'usage d'intrants) par les algues ainsi que par la valorisation complète de la biomasse produite. De même, la minimisation des besoins énergétiques de la phase de culture passe par une conception adaptée et intégrée du moyen de culture. L'objectif de la thèse est de modéliser et de caractériser expérimentalement un nouveau concept de photobioréacteur et d'étudier son intégration énergétique.

Les microalgues peuvent être cultivées en bioréacteurs (enceintes dans lesquelles se déroulent des interactions biologiques). Ces photobioréacteur peuvent être construits avec des matériaux transparents laissant passer la lumière et autorisant les réactions de photosynthèse.

L'éclairage se fait à partir de la lumière solaire ou artificielle avec des lampes ou des tubes fluorescents.

Le principal avantage de cette technique est qu'elle permet de contrôler les conditions de culture (distribution et évacuation du CO₂, de l'O₂, contrôle du pH, de la température,...).

L'utilisation d'un bioréacteur contrôlé permet de maintenir la stérilité de la culture ; c'est à dire que l'on évite ainsi la contamination du réacteur par une autre souche que celle que l'on désire cultiver. En effet, il existe de très nombreuses souches de bactéries naturellement présentes dans notre environnement (inoffensives ou pathogènes) qui pourraient se développer dans le milieu de culture utilisé par la souche que l'on produit, occasionnant de graves dysfonctionnements. Pour se prémunir, on stérilise le bioréacteur et son milieu de culture .

Deux autres paramètres extrêmement variables et importants, mais qui sont en général surveillés sont le pH et la température. En effet, un micro-organisme donné fonctionne de façon optimale dans des limites de pH et de température assez étroites (dépendant le plus souvent des conditions de son milieu naturel) : le maintien de la valeur de ces paramètres est nécessaire. L'agitation est également un paramètre important sur un bioréacteur, car il faut s'assurer qu'il existe un brassage suffisant des cellules et du milieu de culture de façon à éviter l'existence de gradients de concentration ou de zones peu agitées qui ne fonctionneraient pas de façon optimale dans le réacteur.

Cette étude comporte la conception d'un photobioréacteur permettant d'étudier l'influence des différents paramètres physico-chimiques (temps d'exposition à la lumière, agitation, température...) sur la culture des microalgues. Ce travail est divisé en trois chapitres :

- Le *premier* est une étude bibliographique concernant les microalgues, les photobioréacteurs ainsi que la cinétique de croissance des microalgues.
- Le *deuxième* chapitre est relatif à l'analyse fonctionnelle et la problématique
- Le *troisième* chapitre est consacré à la conception du la maquette d'étude et de l'instrumentation .

Enfin, nous terminons par une conclusion, résumant l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus et les perspectives pour la poursuite de ce travail.

Chapitre 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Partie 1 : Généralités sur les photobioréacteurs

1. 1. Introduction

La notion de photobioréacteur date déjà de quelques décennies. Il s'agit d'une enceinte Confinée où des microorganismes photosynthétiques sont cultivés dans des conditions contrôlées (pH, température, pression, etc.). De nombreux photobioréacteurs ont été réalisés et expérimentés avec des formes géométriques diverses.

1. 2. Qu'est-ce qu'un photobioréacteur ?

Un photobioréacteur (PBR) est défini comme un système clos à l'intérieur duquel se déroulent, en présence d'énergie lumineuse, des interactions biologiques que l'on cherche à contrôler en maîtrisant les conditions de culture. A l'intérieur du PBR, une réaction biochimique de photosynthèse a lieu dans le but de produire de la biomasse végétale à partir de microalgues, de CO₂ et de lumière.

1. 3. Le principe de fonctionnement d'un photobioréacteur

Le principe du fonctionnement des photobioréacteurs est le suivant : au sein d'une enceinte confinée, le bioréacteur, des microorganismes photosynthétiques sont cultivés, dans des conditions contrôlées, à l'aide des substrats nécessaires à leur croissance et d'un apport d'énergie lumineuse. Les interactions biologiques ayant lieu en milieu fermé, il est indispensable de maîtriser les conditions de cultures. Il faut en particulier gérer le processus d'homogénéisation du milieu, et effectuer un suivi de la température, du pH et de lumière.

1. 4. La lumière et le photobioréacteur

La particularité d'un photobioréacteur tient, en plus des besoins habituels communs à tous les bioréacteurs, à la nécessité de fournir une énergie photonique aux microorganismes à cultiver (ici les microalgues). Cet apport étant incontournable pour la réalisation de la photosynthèse.

D'un point de vue technologique, l'enceinte du système doit donc être transparente et être conçue de façon à fournir une intensité lumineuse suffisante, mais non mortelle, pour les microalgues.

On peut distinguer deux grandes catégories de PBR suivant la source lumineuse : les PBR solaires et les PBR à lumière artificielle.

La première catégorie (PBR solaire) est généralement utilisée pour la production en masse, profitant ainsi de la ressource solaire pour la mise en place d'une production industrielle à grande échelle. On citera par exemple les géométries tubulaires utilisées pour les cultures de *Chlorella vulgaris* (alimentation humaine et animale), *Hametococcus phuvialis* (production d'astaxanthine) ou *Arthrospira platensis* (production de biomasse).

Les PBR à lumière artificielle sont utilisés pour des productions à petite échelle. Les différents paramètres (température, pH, agitation etc...) en plus de la lumière peuvent alors être rigoureusement maîtrisés, ce qui rend particulièrement utiles les systèmes en lumière artificielle pour l'étude de la croissance des micro-organismes photosynthétiques et l'optimisation d'un ou plusieurs paramètres.

La croissance des microorganismes (microalgues), et donc la production de biomasse, dépend de la quantité de lumière reçue par chaque microalgue.

Deux facteurs sont à distinguer :

- D'une part, la quantité et la qualité de la lumière émise par le dispositif d'éclairage (intensité, spectre d'émission des sources lumineuses et le nombre de ces sources).
- D'autre part, la quantité et la qualité de la lumière réellement disponible pour les microalgues au sein du photobioréacteur : celle-ci étant différente du flux lumineux incident du fait des pertes par absorption et diffusion qui ont lieu en traversant la culture et les parois du réacteur.

La distribution hétérogène de l'irradiance selon l'épaisseur de la culture conduit à des cinétiques locales de croissance :

- ✓ En surface, du fait d'une intensité lumineuse trop forte, une zone de photoinhibition peut apparaître et entraîner la dégradation des photosystèmes et l'apparition de pigments accessoires.
- ✓ En profondeur, des effets d'auto-ombrage peuvent conduire à une photoalimentation avec un manque d'énergie ou même à un basculement vers un mécanisme respiratoire.

Concevoir un photobioréacteur suppose donc une réflexion poussée sur les conditions d'accès à la lumière.

1. 5. L'hydrodynamique au sein des photobioréacteurs

L'homogénéisation de la culture est importante pour que les diverses réactions se déroulant au sein du photobioréacteur aient lieu. Des systèmes d'agitation et d'aération du milieu sont à mettre en place pour favoriser le mélange.

Cependant cela entraîne des effets antagonistes car si ces systèmes améliorent les transferts, ils peuvent aussi fragiliser le matériel biologique.

Les différentes phases en présence au sein d'un photobioréacteur doivent être mélangées afin de favoriser l'accès à la lumière et les transferts liquide-liquide et gaz-liquide, de limiter la formation de zones de photolimitation et de photoinhibition (cinétiques locales de croissance) et d'éviter l'encrassement des parois (biofilm).

L'hydrodynamique est un facteur potentiellement stressant pour la croissance des cellules. Elle peut perturber voire modifier l'état physiologique cellulaire au-delà d'un certain seuil et/ou une certaine fréquence. Il est à noter également que le bullage peut provoquer des perturbations de l'état physiologique des cellules et de la croissance. Différents facteurs peuvent en être responsables : les forts cisaillements au niveau de l'injecteur de gaz, l'entraînement des cellules par flottation et l'éclatement des bulles à la surface.

En conséquence, un compromis hydrodynamique est à rechercher, pour assurer d'une part, un mélange suffisant, et d'autre part préserver l'intégrité cellulaire.

1. 6. Les formes géométriques les plus courantes

La géométrie du photobioréacteur c'est le critère dont dépend principalement la problématique de l'accès à la lumière.

Deux familles de photobioréacteurs se dégagent au point de vue géométrique : les photobioréacteurs plats (géométrie plane) et les photobioréacteurs tubulaires (géométrie cylindrique). Pour chacune de ces deux familles des variantes existent ; elles sont liées à des besoins spécifiques.

1. 6. 1. Les photobioréacteurs plats

Un photobioréacteur plat se compose de deux panneaux parallèles transparents pour laisser passer la lumière, de surfaces variables et entre lesquels réside une mince couche de culture d'une profondeur (épaisseur) de quelques centimètres (Figure 1).

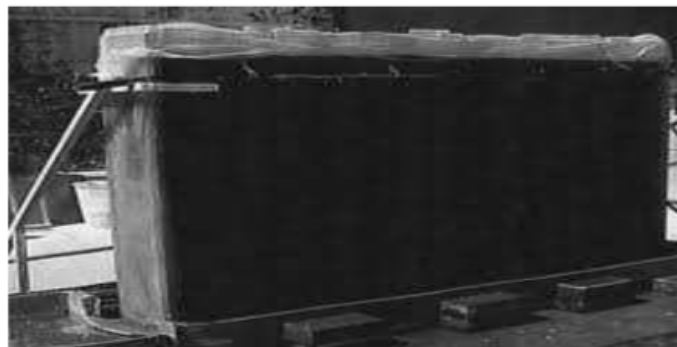


Figure 1: Photobioréacteur de type plat

1. 6. 2. Les photobioréacteurs cylindriques

Un photobioréacteur cylindrique se compose d'un ou plusieurs tubes transparents, de diamètres et longueurs variables, de configurations diverses et au sein desquels circule la culture. Pour les photobioréacteurs cylindriques, les variantes de configuration sont multiples.

Les photobioréacteurs de type colonne

Le photobioréacteur cylindrique de type « scobalit » est un système classique qui est très répandu dans l'aquaculture française. Ce photobioréacteur se compose d'une colonne verticale, dont la dimension varie tant en hauteur qu'en diamètre.

En général, les dispositifs utilisés dans les écloséries font 2 m de haut pour environ 30-50 cm de diamètre (Figure 2) et sont éclairés latéralement par des tubes fluorescents.

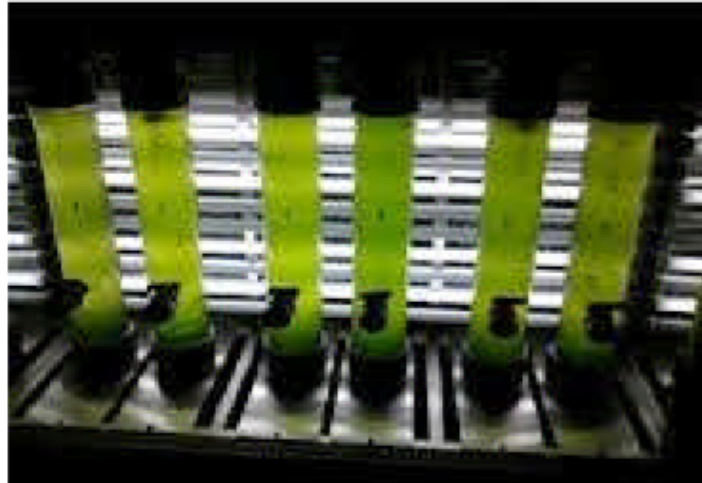


Figure 2: Photobioréacteur de type colonne

Les photobioréacteurs de type annulaire

Les photobioréacteurs annulaires sont des photobioréacteurs cylindriques agencés d'une manière particulière : ils sont fabriqués à partir de deux tubes de diamètres différents emboîtés l'un dans l'autre pour constituer ainsi un espace annulaire dans lequel circule la culture (Figure 3). La variante annulaire est intéressante du point de vue de la distribution de la lumière artificielle que l'on peut situer au centre du système de tubes. Cependant, ce type de géométrie est plutôt complexe et difficile à extrapoler car elle occupe une surface importante au sol pour un volume de culture restreint.



Figure 3: Photobioréacteur de type annulaire

Les photobioréacteurs tubulaires agencés horizontalement

La configuration tubulaire se présente sous forme de boucles, ou serpentins, qui laissent passer la lumière entre les interstices des boucles (Figure 4) .

Dans les années 1980, Gudin et Chaumont, notamment, ont mis au point ce type de photobioréacteur en forme de serpentín au sol, dont la culture circule à l'aide d'une pompe et d'une zone air lift afin de limiter les dommages cellulaires. Par la suite des améliorations y ont été introduites avec un système de balles en plastique permettant un auto-nettoyage des parois des tubes rigides L'ensemble de ce photobioréacteur est d'un coût prohibitif et nécessite une maintenance trop importante pour pouvoir être aisément commercialisé.

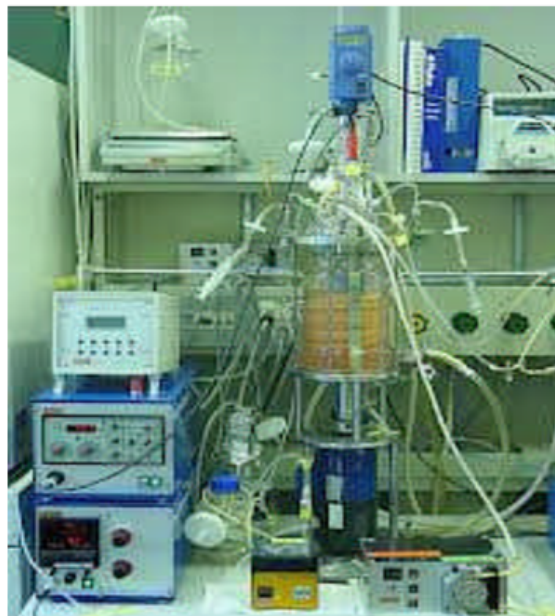


Figure 4: Photobioréacteur tubulaire agencé horizontalement

Les photobioréacteurs tubulaires agencés verticalement

Les photobioréacteurs tubulaires qui utilisent l'énergie solaire nécessitent de grandes surfaces au sol. Afin de restreindre cet encombrement, des photobioréacteurs à structure verticale ont été conçus : ils utilisent généralement des tubes de diamètre relativement faible (inférieur à 200 mm).

Le photobioréacteur « Biocoil » est un photobioréacteur tubulaire dont les tubes sont enroulés autour d'une structure verticale (Figure 5), ce qui offre l'avantage de pouvoir utiliser une grande longueur de tube (donc un grand volume de culture) tout en occupant une surface réduite .



Figure 5: Photobioréacteur « Biocoil »

1. 7. Caractéristiques des principaux types de photobioréacteurs

1. 7. 1. Eclairage

L'éclairage des photobioréacteurs, en extérieur, peut simplement être naturel en utilisant la lumière solaire : les panneaux sont alors généralement installés horizontalement ou de façon inclinée pour améliorer l'utilisation de l'irradiance solaire.

Une variante consiste, pour certains photobioréacteurs cylindriques, à placer les photobioréacteurs sur des surfaces réfléchissantes afin d'accroître, par réflexion, l'incidence du rayonnement.

A l'intérieur, les photobioréacteurs peuvent être placés sous serre, mais souvent des sources lumineuses artificielles sont utilisées, telles que des tubes fluorescents (de type : « cool white » ou lumière du jour). Placés verticalement ou horizontalement, ils sont souvent agencés sous forme de murs de tubes horizontaux ou verticaux.

1. 7. 2. Régulation

L'utilisation d'un photobioréacteur contrôlé permet de contrôler les grandeurs caractérisant la croissance telles que le dégagement d'oxygène, la consommation de dioxyde de carbone, l'augmentation du pH. Cette régulation assure l'optimisation des cultures.

Contrôle du pH

La régulation du pH de la culture est obtenue à l'aide de CO₂ distribué, quel que soit le système d'agitation. A noter que l'aération et le mélange du milieu de culture en scobalits (photobioréacteur à colonne) s'effectuent par un bullage simple d'air enrichi entre 2 et 5 % de CO₂.

Contrôle de la température

Les moyens de contrôle et systèmes de régulation de la température des photobioréacteurs en extérieur comme en intérieur sont variés : ils peuvent être entourés d'une enveloppe d'eau froide placée à la base du procédé où la régulation thermique pour les photobioréacteurs plat est réalisée par une circulation d'eau dans des compartiments adjacents aux panneaux de la chambre de culture. Une variante de ce système est l'utilisation de tubes à écoulement d'eau placés au sein même de la culture.

Plus particulièrement, à l'extérieur, des jets d'eau permettent le contrôle de la température par Évaporation. La régulation thermique peut se faire également en immergeant le photobioréacteur dans un bassin rempli d'eau, ou encore en aménageant autour de lui un système d'ombrage. Quant à l'intérieur, les petits volumes sont généralement placés dans des pièces climatisées.

1. 8. Techniques d'agitation et de mise en circulation

I. 8. 1. Description des systèmes d'agitation

L'agitation est un paramètre important dans un photobioréacteur car il faut s'assurer qu'il existe un brassage suffisant des cellules et du milieu de culture de façon à éviter l'existence de gradients de concentration ou de zones peu agitées. Cependant, une agitation trop importante n'est pas forcément supportée par les micro-organismes, surtout s'ils sont pluricellulaires comme beaucoup de cyanobactéries ou de microalgues. L'agitation influence fortement l'efficacité du transfert gaz-liquide au sein du réacteur. Il existe plusieurs façons d'agiter un réacteur ; les réacteurs dits agités peuvent l'être par des moyens mécaniques (différents types de mobiles d'agitation sont mus par un moteur) ou pneumatiques (par injection de gaz).

Injection de gaz

Le système le plus basique et le moins coûteux consiste à injecter du gaz sous forme de bulles en fond de réacteur appelé alors colonne à bulles : les mouvements complexes de la phase liquide sont simplement induits par la population de bulles.

Ces modes de fonctionnement permettent également d'aérer le milieu et ainsi de ne pas être limitant en termes de transferts gaz-liquide (apport du dioxyde de carbone et élimination de l'oxygène dissous).

Enfin, un système d'évacuation des gaz doit être prévu (événements). A noter qu'au niveau de la zone

d'échappement du gaz, l'éclatement des bulles en surface peut entraîner une zone de salissure où s'accumulent les cellules mortes propices aux développements bactériens.

Mobiles d'agitation

Les mobiles d'agitation (hélice, turbine) sont des dispositifs technologiques internes d'agitation mis en rotation par des moteurs. Quelle que soit leur forme, le diamètre des mobiles d'agitation correspond généralement à un tiers de celui du cylindre lorsqu'il s'agit de favoriser le dégazage.

Ces dispositifs sont utilisés dans les photobioréacteurs cylindriques verticaux ou horizontaux, les photobioréacteurs plats ayant une chambre de culture d'épaisseur en général trop faible.

Les turbines sont efficaces pour homogénéiser le milieu (mouvement de convection) mais ne permettent pas généralement d'éviter la formation de dépôts (salissures) en parois.

Dans le cas de cultures de cellules sensibles à l'hydrodynamique, des hélices marines de large diamètre sont utilisées à des vitesses de rotation faibles. Cependant, pour les grands volumes (quelques dizaines de litres), il est nécessaire d'augmenter la vitesse de rotation des hélices pour vaincre les pertes de charges (photobioréacteur tubulaire) ce qui n'est pas toujours bien supporté par tous les microorganismes.

Des systèmes à hélices peuvent provoquer des cisaillements et des taux de turbulence élevés qui perturbent la physiologie des cellules de flagellés.

Partie 2 : les Microalgues

2. 1. Introduction

Il existe plusieurs espèces de microalgues possédant un métabolisme hétérotrophe. Celles-ci se distinguent toutefois de par leurs caractéristiques nutritionnelles et leur capacité à produire des acides gras pouvant servir à la production de biodiesel. Ces caractéristiques seront donc présentées dans cette section. Les nombreuses méthodes de culture, de récolte et d'extraction seront également discutées afin de permettre une compréhension générale des techniques de production utilisées.

2. 2. Définition des microalgues

Les microalgues sont des êtres unicellulaires eucaryotes, c'est à dire comportant un noyau. Elles sont de formes et de tailles variées, allant de quelques micromètres à plusieurs dizaines de micromètres (Cadoret et Bernard, 2008). Présentes dans tous les milieux (salins, eaux douces, milieu aride...), les microalgues représentent la majorité du plancton marin et produisent l'essentiel de l'oxygène atmosphérique (Berberoglu et al., 2009). Le nombre d'espèces est estimé de 200 000 à 1 000 000, ce qui représente un grand potentiel et une grande diversité par rapport aux 250 000 espèces végétales recensées (Cadoret et Bernard, 2008 ; Pulz et Gross, 2004). Sur ce grand nombre

d'espèces de microalgues estimées, environ 10 000 espèces sont connues et, malgré un intérêt croissant des industriels depuis la moitié du 20ème siècle, seulement quelques dizaines de microalgues sont cultivées à une échelle industrielle (Degen et al., 2001 ; Spolaore et al., 2006). La majorité des microalgues croissent à une température de 25-35°C avec un pH neutre (Zeng et al., 2011).

2.3. Photosynthèse

Les microalgues sont des eucaryotes autotrophes, c'est à dire qu'elles transforment le dioxyde de carbone inorganique (ou minéral), comme celui présent dans l'air, en matière organique. Cette transformation s'effectue grâce à l'énergie lumineuse par un processus unique de conversion de l'énergie solaire : la photosynthèse. Les microalgues ont un rendement photosynthétique élevé (rapport de l'énergie lumineuse incidente sur l'énergie stockée dans les microalgues) .

Le principe de la photosynthèse a été découvert par Priestley en 1780, le dioxyde de carbone est absorbé par les plantes grâce à un pigment vert : la chlorophylle. Lors de la photosynthèse, par action de la lumière, le dioxyde de carbone est réduit en sucre $(CH_2O)_n$ servant à la construction des réserves (des sucres comme l'amidon ou des huiles). L'eau est quant à elle photo-oxydée en oxygène. La photosynthèse est donc la transformation de carbone inorganique en matière organique ou encore la transformation d'énergie lumineuse (représentée par $h\nu$ dans la Figure 8) en énergie chimique, c'est un processus de capture de l'énergie .

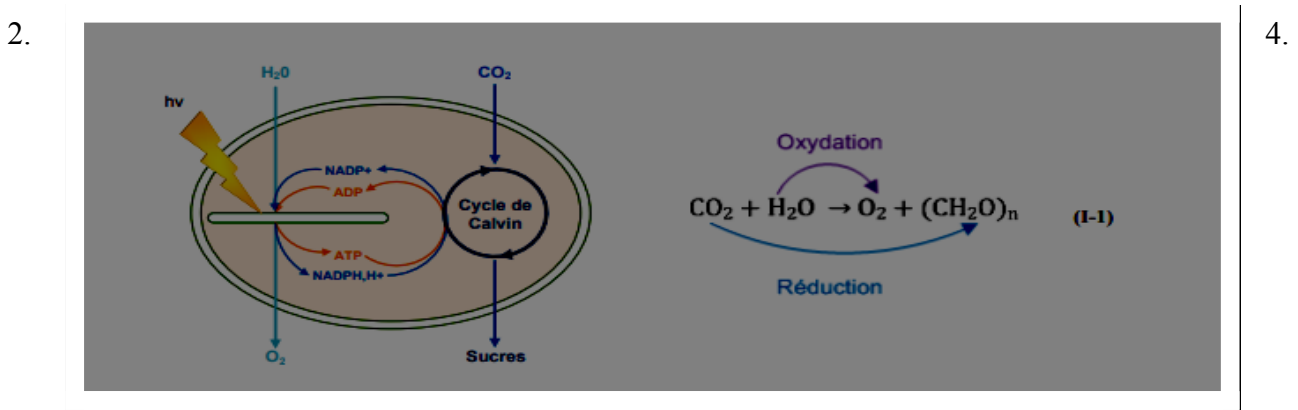


Figure 6: La photosynthèse - Réaction globale

Techniques de mise en culture

2. 4. 1. Différents modes de production de biomasse micro-algale

Les deux principales méthodes de production à grande échelle de biomasse micro algale sont les systèmes ouverts (bassins) et les photobioréacteurs.

Système de production ouvert : bassin de type « raceway » : Les cultures d'algues à l'air libre représentent 10000 tonnes par an de matière sèche. A grande échelle, la production de masse se fait principalement à l'aide de bassins de type « raceway » de toutes tailles (entre 1000 et 5000 m²), en

eau douce ou salée. Ils sont constitués de bassins clos de quelques dizaines de cm de profondeur, circulaires ou formant des boucles imbriquées les unes contre les autres (Figure 9).



Figure 7: Bassin raceway

Photobioréacteurs : Les microalgues peuvent être également cultivées en bioréacteurs (enceintes dans lesquelles se déroulent des interactions biologiques, utilisées pour la production de biomasse, d'un métabolite, pour la conversion d'une molécule,...). Dans le cas des algues, on utilise des photobioréacteurs, construits dans des matériaux transparents laissant passer la lumière et autorisant les réactions de photosynthèse. L'éclairage se fait à partir de la lumière solaire ou artificielle avec des tubes fluorescents. Il peut être optimisé avec un certain angle d'inclinaison du réacteur.

Le principal avantage de cette technique est qu'elle permet de contrôler les conditions de culture (distribution et évacuation du CO_2 , de l' O_2 , contrôle du pH, de la température,...), et aussi de maintenir la stérilité de la culture.

Tableau 1: Comparaison des avantages et inconvénients des bassins de type raceway et des photobioréacteurs

Systèmes	Bassin de type « raceway »	Photobioréacteur
Paramètres		
Risque de contamination	Fort, sauf pour les espèces extrémophiles	très faible si le procès est maîtrisé
Impacts des conditions extérieures	Important	Faible
Dimensions des réacteurs	Illimitée	Limitée
Concentration en biomasse	Faible	Elevée, jusqu'à 10 g. l ⁻¹
Rapport S/V	Faible (1 à 8)	Elevé (de 20 à 100)
Perte en CO₂	Importantes	Maîtrisables
Concentration en O₂	Faible	Elevée
Eclairément	Dépendance totale aux conditions climatiques	Possibilité d'éclairément en continu mais la source lumineuse est gourmande en énergie
Agitation	Nécessaire	Nécessaire
Coût	Elevé	Faible à modérée

2. 5. Influence du milieu

La croissance d'une culture de microalgues est contrôlée par un très grand nombre de facteurs dont les plus importants sont la lumière (intensité et photopériode), le pH, les nutriments, les concentrations en CO₂ et O₂ et l'état physiologique. De ce fait, la recherche d'une production de biomasse algale doit passer par une modélisation de la croissance au cours du temps, en fonction de différents paramètres d'étude.

2.6. Mélange

Le mélange est un facteur important pour avoir un grand rendement en biomasse car cela augmente la productivité et la concentration optimale. L'augmentation de la turbulence du milieu permet aussi d'augmenter les échanges de nutriments et de métabolites entre les cellules et le milieu de culture. Cependant, les algues étant sensibles au cisaillement, tous les types de mélange ne sont pas utilisables (comme les pompes centrifuges). Les forts régimes de turbulence ne sont généralement pas utilisés avec les microalgues car l'augmentation de la turbulence augmente le risque de dommages cellulaires. Les dommages cellulaires sont très probables en airlift ou en colonne à bulles à de fortes turbulences, Les dommages cellulaires sont dus à :

- La force hydrodynamique sur les cellules due au mélange ;
- L'interaction des cellules avec les bulles ascendantes et coalescentes et aussi avec celles au niveau de la surface.

2. 7. Sélection des algues

Une espèce d'algues doit répondre à certaines caractéristiques :

- être robuste et capable de survivre aux contraintes de stress dans les photobioréacteurs
- être en mesure de dominer les souches sauvages dans les bassins ouverts de production
- avoir une haute capacité de capture du CO₂
- avoir des besoins limités en nutriments
- tolérer des écarts de température résultant du cycle diurne et des variations saisonnières
- pouvoir fournir des coproduits de grande valeur
- avoir un cycle de productivité rapide
- avoir une haute efficacité photosynthétique
- faire preuve de capacités d'auto-floculation

Conclusion

Les biocarburants apparaissent comme une source d'énergie de transport indispensable à court terme. Les algues sont capables de produire du biodiesel et du bioéthanol qui peuvent être utilisés dans différents types de moteur. Il est à noter que ce sont les microalgues qui possèdent le potentiel le plus intéressant pour se destiner à la production de biocarburant du fait de leur haute efficacité photosynthétique et de leur capacité à produire une grande quantité de lipides. Il existe de nombreux avantages à l'utilisation des algues comme matière première pour la production d'énergie de transport. Les algues sont capables de se développer avec des eaux usées comme milieu de culture. Ainsi, elles utilisent des nutriments présents dans le milieu et permettent, à cette occasion, le traitement des eaux usées. L'avantage principal est l'utilisation du dioxyde de carbone pour la croissance des algues. Ceci est dû à l'activité photosynthétique des cellules algales. La capture du CO₂ atmosphérique permet la réduction de la pollution environnementale en minimisant l'effet des gaz à effet de serre. Théoriquement, la quantité de CO₂ émise lors de la combustion du biocarburant issu des algues sera minimisée par le fait que ces mêmes algues auront capté du CO₂ pour leur croissance. Enfin, la culture des algues pourra également permettre la production intensive de coproduits intéressants pour d'autres industries telles que l'industrie pharmaceutique, l'industrie cosmétique ou l'industrie nutraceutique. Ces coproduits de haute valeur sont un atout pour la diminution du coût de production de biocarburant à partir de la biomasse des algues.

En fait, l'inconvénient majeur est que la commercialisation des algues comme biocarburant reste pour l'instant irréalisable. En effet, le coût de production est trop élevé et la croissance des algues demande l'utilisation de quantités importantes d'engrais azotés issus notamment du pétrole. Néanmoins, grâce aux recherches actuelles et à l'utilisation du génie génétique, de nombreuses améliorations seront bientôt possibles dans le but de rendre le biocarburant issu des algues

commerciallement viable. Les microalgues alors ont la capacité de consommer du CO₂ pour produire de la matière organique grâce au processus de la photosynthèse, durant laquelle l'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique.

Chapitre 2 : Analyse fonctionnelle et Problématique

1 . Introduction :

Dans ce chapitre, les besoins du client seront identifiés et arrangés par affinité ; ensuite, les fonctions que doit accomplir la machine seront déterminées et classées dans l'arbre fonctionnel, afin d'élaborer le Cahier des Charges fonctionnel (CdCF) dans le prochain chapitre.

2. Client :

Dans tout projet de développement, il est très important de bien comprendre les besoins et attentes des futurs clients du produit à concevoir.

3.Recherche du besoin fondamental :

On définit les éléments qui constituent l'environnement du produit en s'interrogeant sur :

- * l'utilisation qui en est faite : « à quoi, à qui le produit sert-il ? »
- * sa finalité : « quel est son but ? »
- * l'incidence et les effets générés : « sur qui, sur quoi le produit agit-il ? »

Qui le produit rend-il service ?

Sur quoi s'agit-il ?

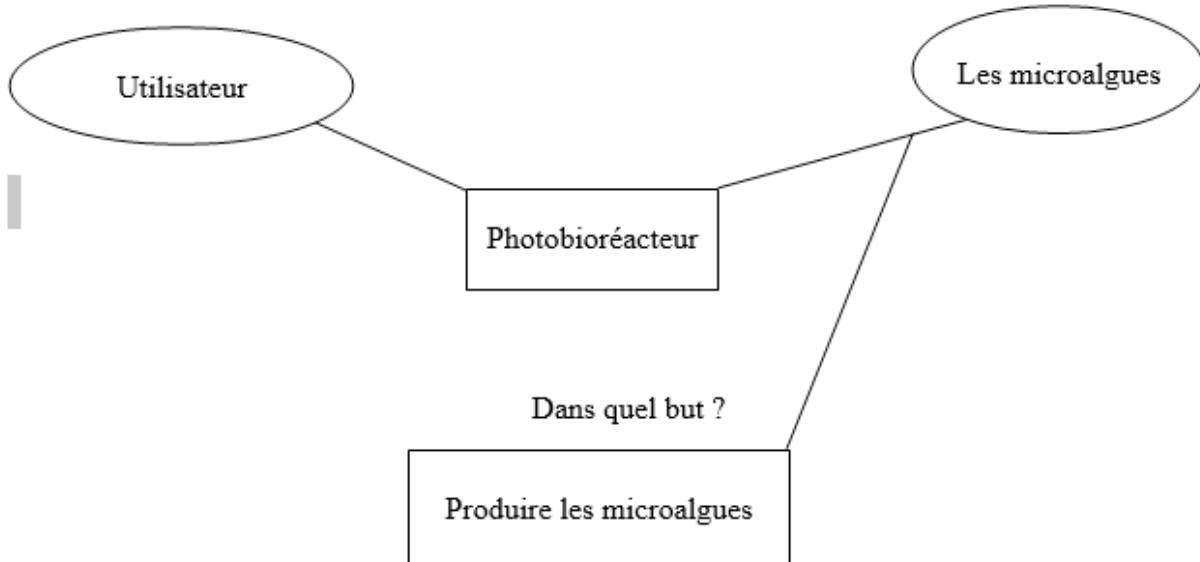


Figure 8: Diagramme Bête-à-corne définissant le besoin ou la fonction d'usage

4. Identification des besoins :

Afin d'établir la liste des besoins qui serviront à élaborer les bases du système, les études

qualitatives qui cherchent à découvrir l'importance du produit pour le client ont été utilisées.

Tableau 2: Besoins retenus par la méthode qualitative

Numéro	Besoin
B1	Produire les biomasses
B2	Est sécuritaire
B3	Est peu couteux
B4	Est automatiser
B5	Utilise les sources électriques du local
B6	Ergonomique

5. Identification des fonctions :

Une fois les besoins du client sont clairement identifiés, il faut déterminer les fonctions indispensables de la machine pour répondre à ces besoins. La formulation des fonctions est très primordiale pour ne pas générer des fonctions d'usage qui amènent à un niveau non souhaitable de complexité des concepts.

La démarche fonctionnelle oblige à poser les véritables questions sur les attentes objectives ou subjectives des futurs utilisateurs ainsi que toutes les contraintes de l'environnement ou des règlements à respecter.

5.1. La conversion des besoins en fonctions :

L'analyse du besoin et sa traduction sous la forme de fonctions n'est pas limitée au fonctionnement et à l'usage du produit. Elle comprend également toutes les motivations du client-utilisateur, même les plus subjectives. Le tableau ci-dessous présente la liste des fonctions déterminées par la conversion des besoins en fonctions.

Tableau 3: Fonctions déterminées par la conversion des besoins en fonctions

N°	Fonction
F1	Permettre l'utilisateur de produire les biomasses dans les conditions optimales
F2	Garantir la sécurité des utilisateurs
F3	être peu couteux
F4	Permettre l'utilisateur de contrôler la production
F5	Permettre l'utilisation de l'alimentation (Électrique) disponible
F6	Avoir une procédure qui respecte l'ergonomie

5.2. Méthode RESEAU :

Afin de trouver les autres fonctions du produit, la méthode RESEAU a été utilisée. RESEAU est

une méthode permettant d'identifier, d'une façon exhaustive et dans un temps minimum, les fonctions à satisfaire par la machine. Elle comporte cinq phases, chacune d'elles permet de déceler une partie des fonctions. L'ensemble des fonctions résulte de la somme des cinq méthodes :

- ✓ Recherche intuitive ;
- ✓ Examen d'environnement ;
- ✓ Sequential Analysis of Functional Elements (SAFE);
- ✓ Examen des mouvements et des efforts ;
- ✓ Analyse d'un produit de référence ;

Pour ce projet, on a utilisé 4 méthodes : la recherche intuitive, examen d'environnement, SAFE et Examen des mouvements et des efforts.

Recherche intuitive :

Commençons par l'examen détaillé de la première phase, la recherche intuitive. Comme son nom l'indique, cette phase fait appel à l'intuition, recherche spontanée ressemblant à un brainstorming pratiqué. La recherche intuitive a le mérite de placer le groupe en situation assez rapidement car tous les participants du groupe de travail recherchent les fonctions dans toutes les directions (**Tableau 4**). Ces approches multidirectionnelles permettent de situer le produit sous différents éclairages. Cela aide à la mise en condition psychologique, étape nécessaire à la bonne compréhension du problème posé.

Tableau 4: Fonctions déterminées par la méthode intuitive

No	Fonction
F7	Contrôler le dioxyde de carbone
F8	Controler la température
F9	Utiliser une source d'électricité standard
F10	Protéger l'utilisateur contre les sources électriques
F11	Controler le ph
F12	Indiquer l'état de la machine (en marche, en attente,)
F13	Assurer l'agitation
F14	Contenir la production dans une enseinte fermé
F15	Faciliter la mise en œuvre de la production
F16	Eliminer les erreurs dans la production
F17	Economiser l'électricité
F18	Respecter les réglementations et les recommandations qui ont été émises par les autorités sanitaires

Examen d'environnement :

Un produit n'est jamais indépendant de son environnement, et dans la plupart des cas le produit doit

s'adapter à son environnement. Cependant, il existe des cas où l'environnement doit s'adapter au produit, notamment si ce dernier prend une position prépondérante dans son nouvel environnement. Par la suite, on peut écrire toutes les actions que le produit devra effectuer (ou fonctions) en lien avec ces interacteurs (**Tableau 5**),

Tableau 5: Fonctions déterminées par l'examen d'environnement

No	Fonction
F19	Faciliter la manipulation de la machine
F20	Protéger l'utilisateur contre les accidents
F21	Adapter la machine à l'ergonomie de l'utilisateur
F22	Adapter la machine au produire dedifférents types de biomasses
F23	Contrôler les performences de culture
F24	Résister a son environnement
F25	Faciliter l'entretien
F26	Faciliter le montage et le démontage de la machine
F27	Permettre l'installation dans n'importe quel lieu sur Terre
F28	Limiter le niveau de bruits
F29	Communiquer les informations de l'utilisation à l'utilisateur

Méthode SAFE :

SAFE est une méthode américaine nommée Analyse des Séquences des Eléments Fonctionnels. Elle a été imaginée dans le but de rechercher les fonctions d'un produit à travers l'étude des séquences des phases de son cycle de vie. L'analyse des séquences consiste à identifier toutes les opérations qui ont un rapport direct avec l'usage du produit, et pour chacune d'elles à rechercher les fonctions qui s'y rapportent. En d'autres termes, il s'agit de se mettre à la place de l'utilisateur, de tenir également compte de l'environnement au moment où il utilise le produit, et de rechercher quelles sont les fonctions à remplir durant cette période. Le tableau ci- dessous présente la liste des fonctions déterminée par cette méthode.

Tableau 6: Fonctions déterminées par la méthode SAFE

No	Fonction
F30	Permettre la production automatiquement
F31	Posséder un panneau de commande
F32	Recevoir les consignes de controle
F33	Indiquer le niveau de ph de la culture
F34	Permettre le marche /arrêt automatique du lumière selon la concentration lumineuse
F35	Permettre le déchargement rapide et facile des cultures

F36	Permettre l'agitation automatique de la culture
F37	Indiquer l'état de dioxyde de carbone
F38	Faciliter le suivi (afficher les paramètres de contrôle)
F39	Interrompre et reprendre le cycle
F40	Indiquer la température de la culture
F41	Résister aux impacts

6. Création de l'arbre fonctionnel :

Dans le but d'avoir une vue globale des fonctions fonctionnelles à Mobile d'agitation Ceci a permis de mettre en évidence les sous-fonctions. Le **tableau 7** présente la liste définitive des fonctions et méthodes d'agitation des besoins pour la création de l'arbre fonctionnel (**figure 9**). Certaines fonctions sont reformulées et sont éliminées (aucune valeur ajoutée/ répétition des fonctions).

Tableau 7 : Fonctions et méthodes d'agitation des besoins

No	Fonction	Méthode	Composant
1	Permettre l'utilisateur d'assuré l'éclairage automatisé	Utiliser un système de commande de l'éclairage	Capteur de lumière
2	Agiter la culture	Utiliser un système d'agitation	Arduino uno
3	Adapter la machine à l'ergonomie de l'utilisateur		
Fc4	Injecter les gazes nécessaires dans l'enceinte	Utiliser un système d'injection irréversible	injecteur
Fc5	Contrôler l'enceinte		
Fc6	Injecter les gazes nécessaires dans l'enceinte		
Fc7	Faciliter la préparation de la machine	Contrôler la température	Circuit de contrôle de température
Fc8	Assurer la sécurité de l'enceinte	Contrôler le PH	Circuit de contrôle ph
Fc9	Contrôler l'enceinte fermé	Contrôler CO2	Circuit de contrôle co2
Fc10	Faciliter la préparation de la machine	Utiliser une couverture	couverture
		Décomposer l'enceinte	Formes géométrique

Diagramme 1 : FAST

7. Conclusion

Une fois que la structure de travail pour la recherche de concept est désormais définie. La partie suivante du rapport sera consacrée à la description du matériel et des méthodes expérimentales ayant permis la réalisation pratique de cette étude.

Chapitre 3 : MAQUETTE D'ETUDE ET INSTRUMENTATION

1.Introduction

Maintenant qu'on a une représentation concrète de la machine, la phase de conception préliminaire peut être amorcée. C'est dans cette phase que l'on approfondira la détermination des composants de tous les sous-systèmes de la machine

2. Spécifications de la maquette

Les étapes précédentes ont permis d'effectuer certains choix préliminaires en adéquation avec le cahier des charges. Pour répondre aux besoins de modularité et de simplicité de conception du système, une géométrie de type colonnes verticales a été retenue. La maquette d'étude forme une boucle de circulation airlift .

3.Nomenclature des pièces de la maquette

La maquette d'étude conçue de façon à conserver une certaine souplesse afin de tester différentes configurations. La maquette est composée de plusieurs pièces où sont situés notamment la tube colonne, support , bouchon , mobile d'agitation , sondes , alimentation lumineuse et l'injection d'air.

3.1. Support :

3.1.1. Description :

C'est l'appui de notre bioréacteur et qui contient tous les composants, Il est fait de matière plastique d'une largeur suffisant a résister aux charges .

3.1.2.vue 3D :

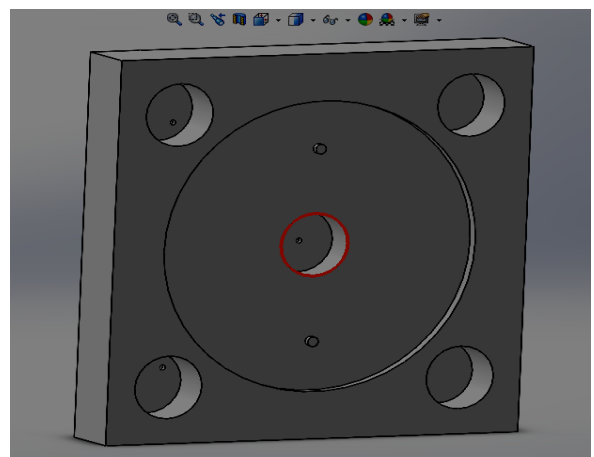
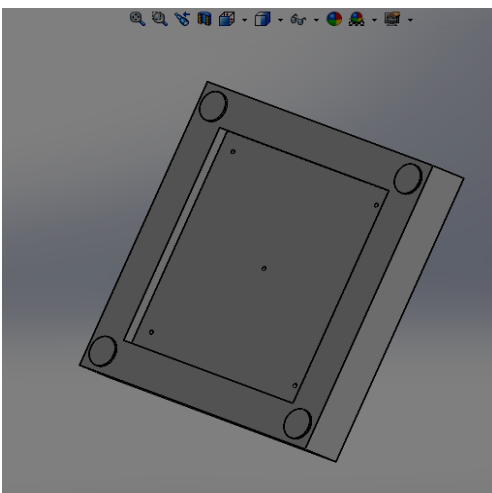


Figure 9: support

3.2. Aquarium :

3.2.1. Description :

Pour faciliter l'évacuation des gaz et limiter l'encombrement au sol, le tube du photobioréacteur a une orientation verticale.

3.2.2. Vue 3D :

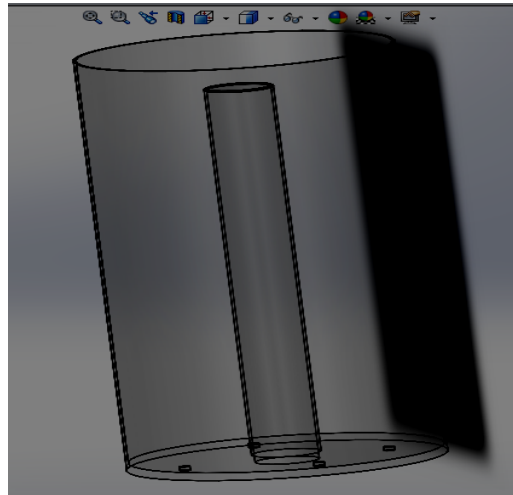


Figure 10: aquarium

3.3. Couvercle :

3.3.1. Description :

Elle est nécessaire pour ne pas laisser passer l'air du milieu intérieur et celui du milieu extérieur.

3.3.2. Vue 3D

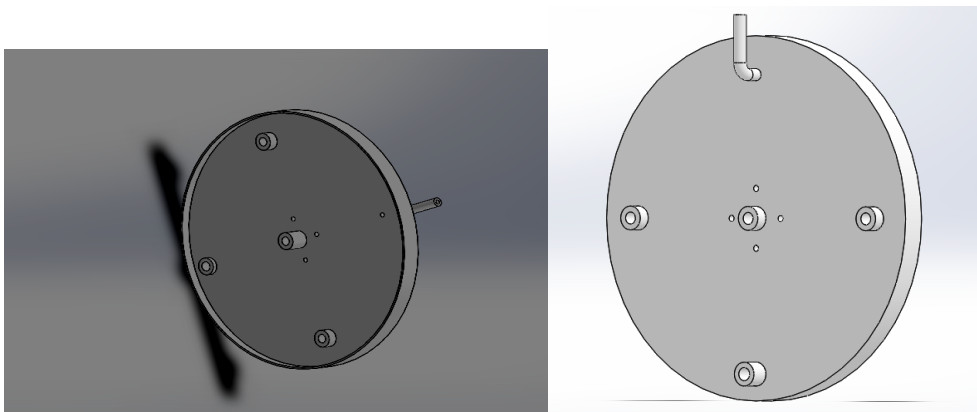


Figure 11: couvercle

3.4. Mobile d'agitation :

3.4.1. Description :

C'est un composant en acier permettre l'agitation homogène et variable de notre culture.

3.4.2. Vue 3D :

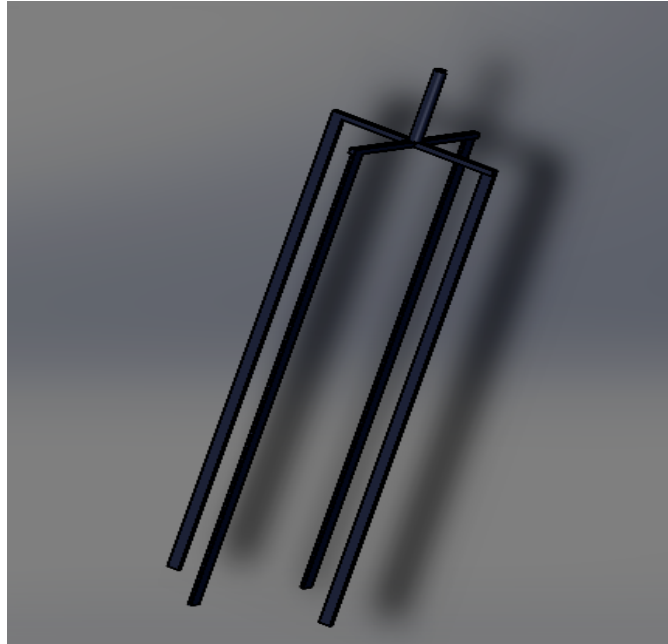


Figure 12: Agitateur

3.5. L'injecteur :

3.5.1. Description :

C'est un composant irréversible qui permet de injecter le gaz nécessaire dans l'aquarium avec une vitesse bien déterminée qui assure la turbulence du milieu.

3.5.2. Vue 3D :



Figure 13: Injecteur

3.6. Autres composants :

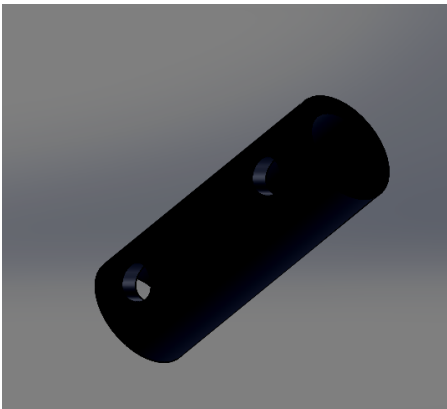


Figure 14

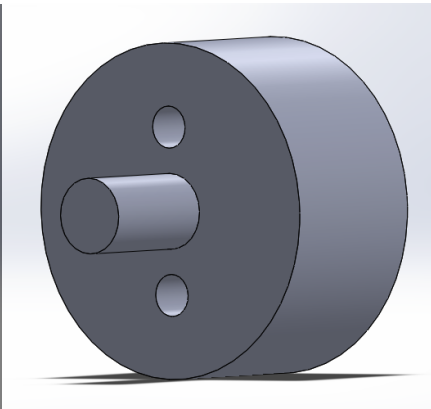


Figure 15: Moteur

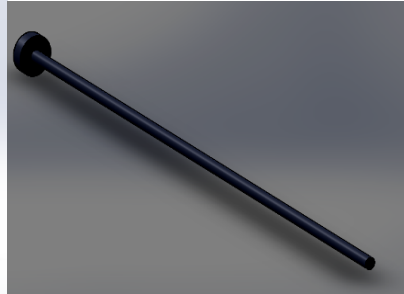


Figure 16: Sonde

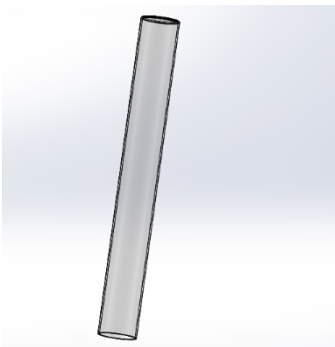


Figure 17: support Lampe

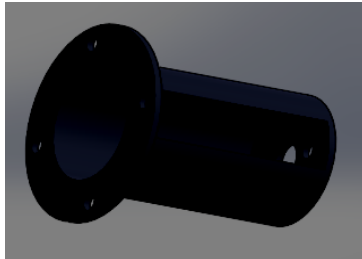


Figure 18: support motour

3.7. Assemblage :

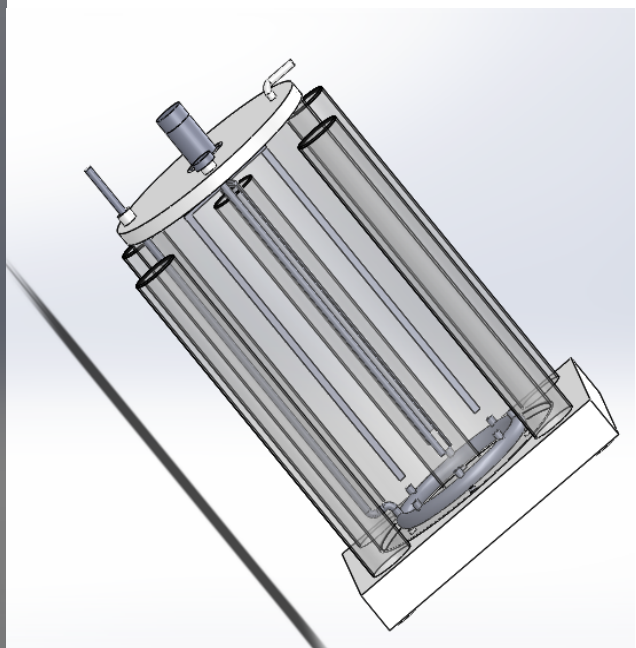
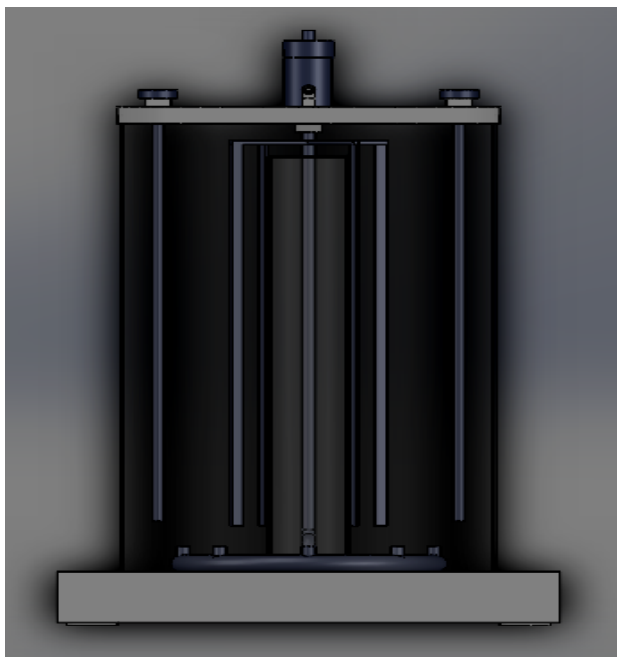


Figure 19: Assemblage

4. Les équipements périphériques de la maquette d'étude :

4.1. Mesure de la température lors des cultures :

Cet article montre comment construire un thermomètre simple à l'aide de la carte Arduino UNO et du capteur de température numérique DS18B20 où la valeur de température est affichée sur un écran LCD 16 × 2 et envoyée en série au moniteur série Arduino .

Le capteur DS18B20 est un composant électronique à 3 broches (comme un simple transistor) de Maxim (anciennement Dallas) qui utilise un protocole à 1 fil pour communiquer avec le dispositif maître. Chaque appareil DS18B20 possède un code série unique de 64 bits, qui permet à plusieurs DS18B20 de fonctionner sur le même bus 1-Wire et d'être contrôlés avec un appareil maître.

Le capteur DS18B20 fournit une résolution de mesure de température de 9 bits à 12 bits Celsius (résolution programmable).

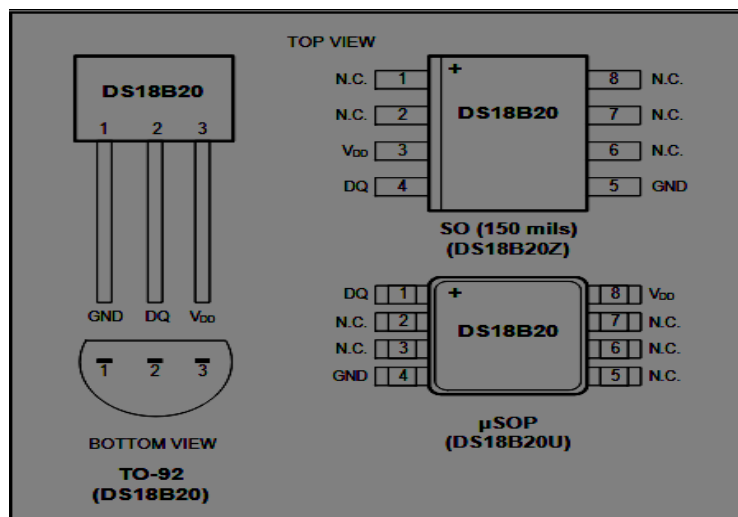


Figure 20: ds18b20 sensor

4.1.1. Matériel

- carte arduino
- capteur temperature ds18b20
- 16*2 lcd lm016l
- resistance de 4,7 k ohm

requis:
uno

4.1.2. Simulation :

Toutes les bornes mises à la terre sont connectées ensemble.

- ✓ Le capteur DS18B20 possède 3 broches: VCC (+ 5V), données et GND.
- ✓ La broche de données est connectée à la broche 10 d'Arduino.

✓ L'écran LCD permet d'afficher la valeur de température lue par le capteur DS18B20.

4.1.3.code arduino :

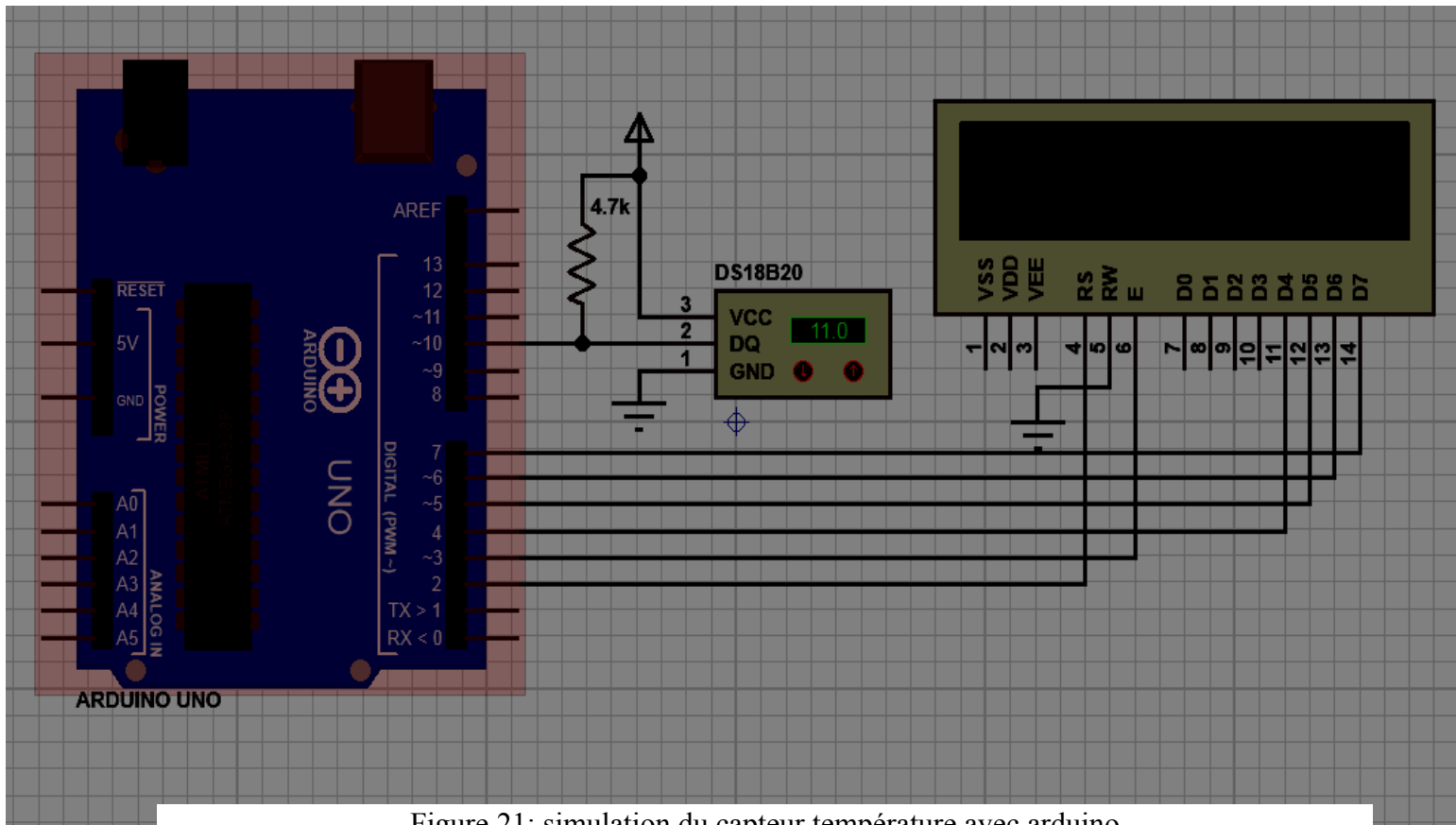


Figure 21: simulation du capteur température avec arduino

```
#include <LiquidCrystal.h>
#define DS18B20_PIN 10
LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7);
int raw_temp;
float temp;
char txt[]=" C ";

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2);
  txt[0]=223;
  lcd.setCursor(2,0);
  lcd.print("Temperature:");
}

void loop(void) {
  if(ds18b20_read(&raw_temp)){
    Serial.print("Temperature = ");
    temp=(float)raw_temp/16;
    Serial.print(temp);
    Serial.println("°C");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(temp);
    lcd.print(txt);
  }
}
```

```
else{
  Serial.println("Communication Error!");
  lcd.setCursor(4,1);
  lcd.print(" Error! ");
}
delay(1000);
}
bool ds18b20_start(){
  bool ret=0;
  digitalWrite(DS18B20_PIN,LOW);
  pinMode(DS18B20_PIN,OUTPUT);
  delayMicroseconds(500);
  pinMode(DS18B20_PIN,INPUT);
  delayMicroseconds(100);
  if(!digitalRead(DS18B20_PIN)){
    ret=1;
    delayMicroseconds(400);
  }
  return(ret);
}
void ds18b20_write_bit(bool value){
  digitalWrite(DS18B20_PIN,LOW);
  pinMode(DS18B20_PIN,OUTPUT);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(DS18B20_PIN,value);
  delayMicroseconds(80);
  pinMode(DS18B20_PIN,INPUT);
  delayMicroseconds(2);
}

void ds18b20_write_byte(byte value){
  byte i;
  for(i=0;i<8;i++){
    ds18b20_write_bit(bitRead(value,i));
  }
}

bool ds18b20_read_bit(void){
  bool value;
  digitalWrite(DS18B20_PIN,LOW);
  pinMode(DS18B20_PIN,OUTPUT);
  delayMicroseconds(2);
  pinMode(DS18B20_PIN,INPUT);
  delayMicroseconds(5);
  value=digitalRead(DS18B20_PIN);
  delayMicroseconds(100);
  return value;
}

byte ds18b20_read_byte(void){
  byte i,value;
  for(i=0;i <8;i++)
```

```
    bitWrite(value,i,ds18b20_read_bit());  
    return value;  
}  
  
bool ds18b20_read(int*raw_temp_value){  
    if(!ds18b20_start())  
        return(0);  
    ds18b20_write_byte(0xCC);  
    ds18b20_write_byte(0x44);  
    while(ds18b20_read_byte()==0);  
    if(!ds18b20_start())  
        return(0);  
    ds18b20_write_byte(0xCC);  
    ds18b20_write_byte(0xBE);  
    *raw_temp_value=ds18b20_read_byte();  
    *raw_temp_value|=(unsigned int)(ds18b20_read_byte()<<8);  
    return(1);  
}
```

4.2. Contrôle CO₂ :

4.2.1. Description :

Dans les conditions adéquates, les organismes phototrophiques peuvent utiliser le CO₂ présent dans l'air pour croître ou former des produits. La concentration de CO₂ est donc un paramètre important, que vous pouvez surveiller avec le capteur de CO₂ en option. Un système ingénieux d'injection de gaz vous offre en outre des possibilités infinies de régulation de la concentration de CO₂ afin de contrôler la croissance.

Un automate ou un logiciel contrôle en continu l'injection de CO₂. En effet, les équilibres carboniques sont sans cesse modifiés lors de la croissance des microalgues qui, en consommant les espèces chimiques de HCO₃⁻ et de CO₃²⁻, tendent à alcaliniser le milieu.

4.2.2. Matériel requis:

- MQ-4 Gas sensor
- LCD 16*2 LM016L
- carte arduino uno
- 2 résistance
- LED vert
- LED rouge

4.2.3. Simulation

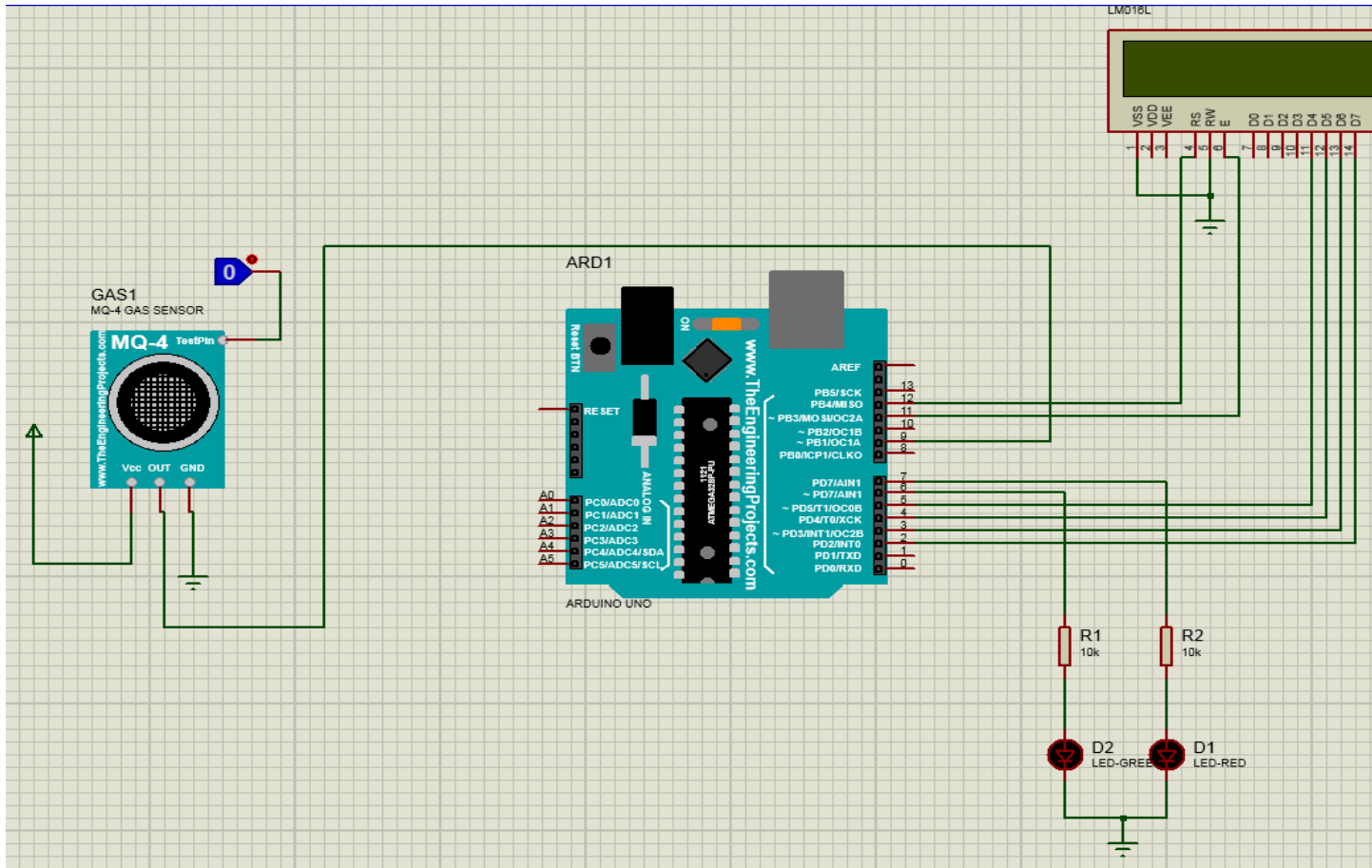


Figure 22: simulation d'un detecteur CO2

Nous simulerons comment utiliser le capteur de gaz, pour détecter la présence d'un gaz CO_2 à un endroit donné. Ensuite, nous traiterons et nous afficherons les résultats à l'aide d'un écran LCD et de 2 voyants lumineux.

4.2.4 code arduino :

```
#include<LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12 , 11 , 5 ,4 ,3 ,2);
int Gas = 9;
int redLed = 7;
int greenLed = 6;
void setup() {
  pinMode(Gas , INPUT);
}
void loop() {
  if(digitalRead(Gas) == HIGH){
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" Gas Detected ");
    digitalWrite(6 , HIGH);
    digitalWrite(7, LOW);
  }
}
```

```
else{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" Gas No Detected ");
  digitalWrite(7, HIGH);
  digitalWrite(6 ,LOW);
}
delay(200);
lcd.clear();
}
```

4.3. Commande des lampes et du moteur :

4.3.1.Description :

Dans cette partie, j'ai réalisé un projet très simple qui consiste à 'éliminer l'obscurité. Chaque fois que la nuit tombe, une ampoule s'allume automatiquement. Vous pouvez même l'utiliser comme système d'éclairage de secours et pour allumer automatiquement une lumière lorsqu'il n'y a pas assez de lumière.

La lumière blanche chaude offre un spectre idéal dans la plage de la lumière visible, comparable à la lumière du jour, avec une très forte proportion de lumière favorisant la photosynthèse. Ce bioréacteur permet bien plus que de simples cycles marche/arrêt, en offrant la possibilité de simuler l'intensité lumineuse sur 24 h.

Le mélange dans le photobioréacteur est réalisé selon le principe airlift et un moteur lié a un agitateur. Les bulles de gaz qui remontent dans le bioréacteur génèrent un profil de flux qui transporte les algues régulièrement vers la source lumineuse. On obtient donc une répartition uniforme de la lumière sur toutes les cellules et une productivité élevée de la biomasse.

4.3.2.Matériel requis:

- carte arduino uno
- afficheur LCD 16*2 LM016L
- capteur lumière TORCH-LDR
- 5 lampes
- moteur a courant continue
- resistances

4.3.3. Simulation :

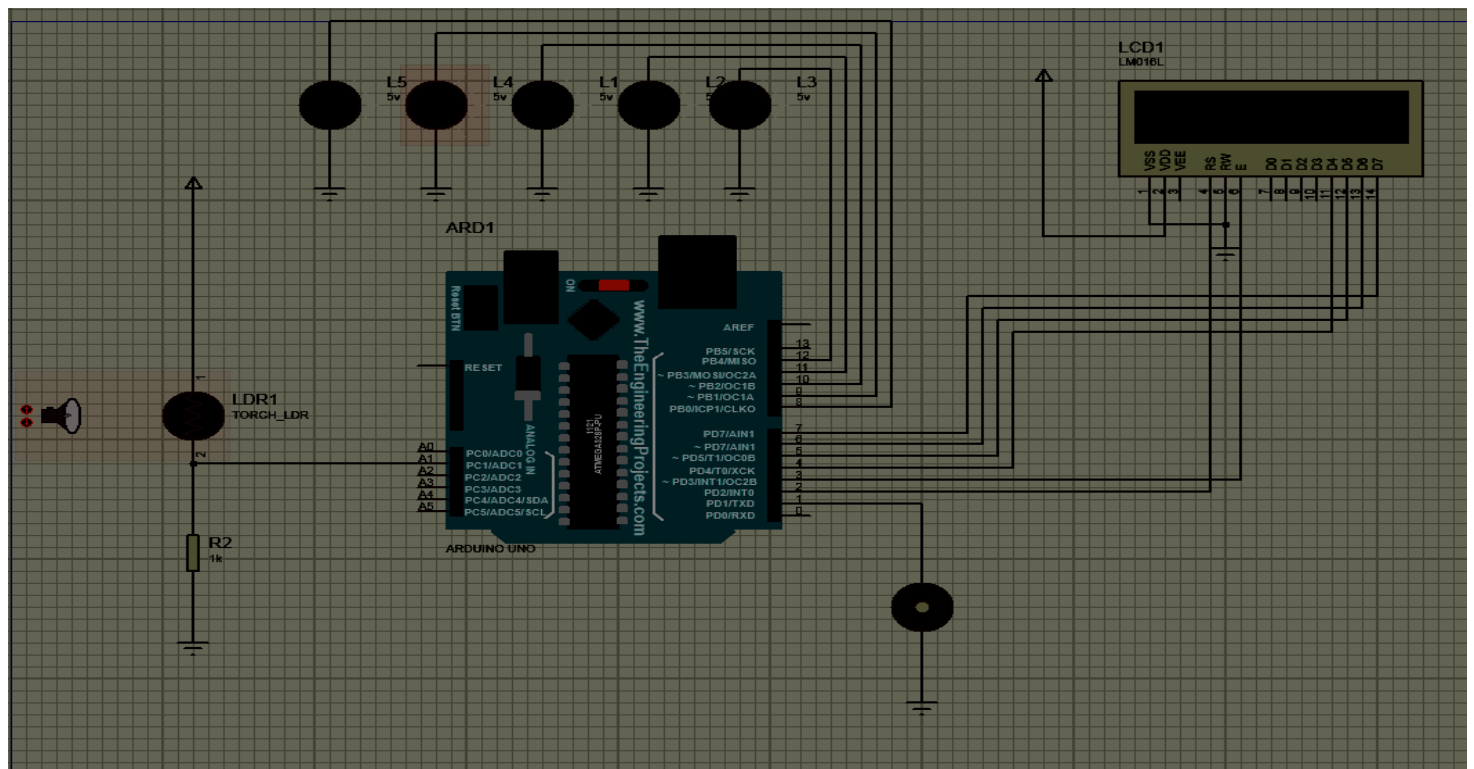


Figure 23: simulation de circuit d’agitation et d’éclairage

Afin de détecter l’intensité de la lumière ou de l’obscurité, nous utilisons un capteur appelé LDR (résistance dépendante de la lumière). Le LDR est un type spécial de résistance qui permet à des tensions plus élevées de le traverser (faible résistance) chaque fois qu’il y a une forte intensité de lumière, et passe une basse tension (haute résistance) chaque fois qu’il fait sombre.

4.3.4. code arduino :

```
#include "LiquidCrystal.h"
LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7); //LCD object Parameters: (rs, enable, d4, d5, d6, d7)
int MOTOR =1;
int LED1 =8;
int LED2 =9;
int LED3 =10;
int LED4 =11;
int LED5 =12;
int LDR = A1;
int val ;
void setup() {
lcd.begin(16,2);
lcd.setCursor(3,0) ;
lcd.print(« LDR ») ;
pinMode(LED1, OUTPUT);
pinMode(LED2, OUTPUT);
pinMode(LED3, OUTPUT);
```

```
pinMode(LED4, OUTPUT);
pinMode(LED5, OUTPUT);
pinMode(MOTOR, OUTPUT);
}
void loop() {
digitalWrite(MOTOR, HIGH);
val=analogRead(LDR);
if(val<500){
  digitalWrite(LED1,HIGH);
  digitalWrite(LED2,HIGH);
  digitalWrite(LED3,HIGH);
  digitalWrite(LED4,HIGH);
  digitalWrite(LED5,HIGH);
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print(« la nuit ») ;
  lcd.setCursor(10,1) ;
  lcd.print(val);
}
else {
  digitalWrite(LED1,LOW);
  digitalWrite(LED2,LOW);
  digitalWrite(LED3,LOW);
  digitalWrite(LED4,LOW);
  digitalWrite(LED5,LOW);
  lcd.setCursor(2,1) ;
  lcd.print(« le jour ») ;
  lcd.setCursor(10,1) ;
  lcd.print(val) ;
}
```

4.4. Contrôle PH :

La régulation du Ph de la culture est obtenue à l'aide de CO₂ distribué, quel que soit le système d'agitation. A noter que l'aération et le mélange du milieu de culture en scobalits (photobioréacteur à colonne) s'effectuent par un bullage simple d'air enrichi entre 2 et 5 % de CO₂.

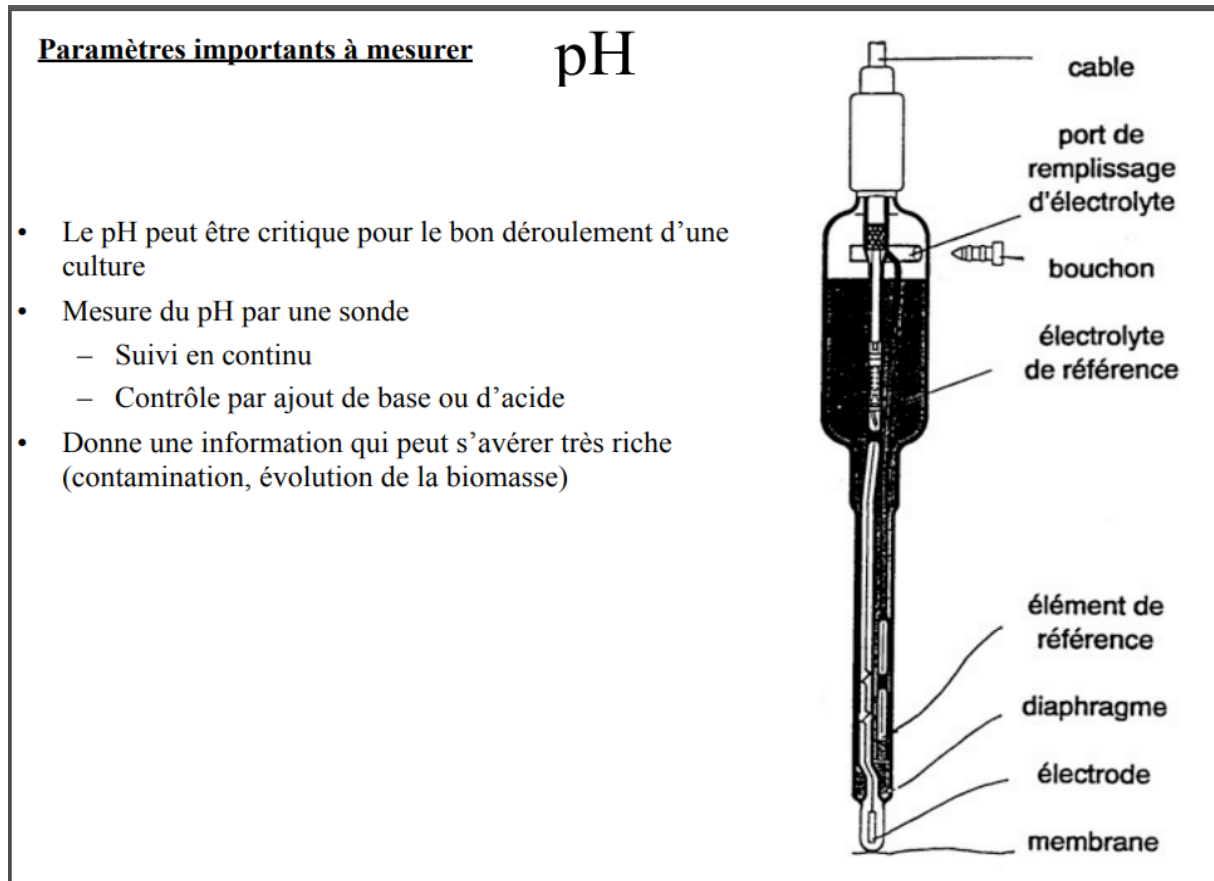


Figure 24: capteur pH

5. Conclusion

Un bioréacteur est un appareil ou unité technologique favorisant, sous des conditions de culture contrôlées, la multiplication des micro-organismes (levures, bactéries, champignons microscopiques, algues...), de cellules voire d'organismes pluricellulaires pour des fins industrielles (production de métabolites et de tissus cellulaires, ou bioconversion de molécules d'intérêt), en : agroalimentaire (yaourts, boissons alcooliques...), médecine (antibiotiques, vitamines...), et/ou traitement des déchets liquides et solides.

Il s'agit alors d'une combinaison de deux composantes principales, l'une biologique (culture vivante), et l'autre artificielle (dispositif commandant les conditions de culture) pour atteindre un objectif de production .

Conclusion générale

Les microalgues sont des micro-organismes photosynthétiques unicellulaires dotées d'une croissance rapide et ont la particularité de produire des métabolites à haute valeur ajoutée comme les pigments, les antioxydants, les polysaccharides, des acides gras essentiels ; pour réaliser des opérations de dépollution (métaux lourds, fixation de CO₂) .

Les microalgues peuvent être cultivées en bioréacteurs (enceintes dans lesquelles se déroulent des interactions biologiques). Ces photobioréacteur peuvent être construits avec des matériaux transparents laissant passer la lumière et autorisant les réactions de photosynthèse.

L'éclairage se fait à partir de la lumière solaire ou artificielle avec des lampes ou des tubes fluorescents.

Le principal avantage de cette technique est qu'elle permet de contrôler les conditions de culture (distribution et évacuation du CO₂, de l'O₂, contrôle du pH, de la température,...).

L'utilisation d'un bioréacteur contrôlé permet de maintenir la stérilité de la culture ; c'est à dire que l'on évite ainsi la contamination du réacteur par une autre souche que celle que l'on désire cultiver. En effet, il existe de très nombreuses souches de bactéries naturellement présentes dans notre environnement (inoffensives ou pathogènes) qui pourraient se développer dans le milieu de culture utilisé par la souche que l'on produit, occasionnant de graves dysfonctionnements. Pour se prémunir, on stérilise le bioréacteur et son milieu de culture .

Deux autres paramètres extrêmement variables et importants, mais qui sont en général surveillés sont le pH et la température. En effet, un micro-organisme donné fonctionne de façon optimale dans des limites de pH et de température assez étroites (dépendant le plus souvent des conditions de son milieu naturel) : le maintien de la valeur de ces paramètres est nécessaire. L'agitation est également un paramètre important sur un bioréacteur, car il faut s'assurer qu'il existe un brassage suffisant des cellules et du milieu de culture de façon à éviter l'existence de gradients de concentration ou de zones peu agitées qui ne fonctionneraient pas de façon optimale dans le réacteur .

Bibliographie

Sites web

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Photobior%C3%A9acteur>
<https://archimer.ifremer.fr/doc/2008/these-3847.pdf>
<https://cordis.europa.eu/article/id/264904-a-novel-photobioreactor-for-lowcost-microalgae-cultivation/fr>
<https://www.usinenouvelle.com/article/l-industrie-c-est-fou-un-bioreacteur-a-algues-pour-sequester-le-co2-des-villes.N891409>
<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-01141894/document>
https://fr.wikipedia.org/wiki/Production_biologique_d%27hydrog%C3%A8ne_par_des_algues
<http://repository.usthb.dz/bitstream/handle/123456789/8188/TH9337.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://french.alibaba.com/product-detail/bioreactor-control-system-design-algae-biodiesel-bioreactor-buy-bioreactor-system-62295578481.html>
<https://www.youtube.com/watch?v=eiJGnxumzCo>
<https://www.youtube.com/watch?v=fRSGkmmJhpE&t=159s>
<https://how2electronics.com/>
<https://www.youtube.com/watch?v=8oI3my2Bsgg&t=178s>
<https://www.youtube.com/watch?v=O3QRQnlmOsg&t=774s>
<https://www.youtube.com/watch?v=NgelBx2MB90>
<https://github.com/programmer131/mq4-sensor>
<https://github.com/programmer131/mq4-sensor/blob/master/ppm.PNG>
https://www.youtube.com/watch?v=BIf_mpnzZvY
<https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf>
<https://www.youtube.com/watch?v=V1uOHOcVZrE&t=76s>
<https://www.youtube.com/watch?v=SdyrKTQ4lk8>
<https://drive.google.com/file/d/1eWQwHlscsV78D-gCN9ErziuD2UhaQpH4/view>
https://fr.aliexpress.com/wholesale?catId=0&initiative_id=SB_20200918012659&SearchText=5v+flash+led
https://www.cdiscout.com/bricolage/r-ampoule+pour+torche+5v.html#_his_

Logiciels

Solide works 2014

Proteus 8.6

Arduino IDE

Annexes

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

DS18B20

Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

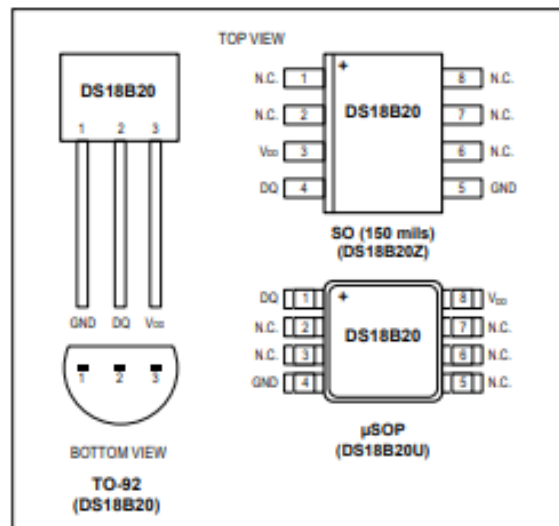
Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
 - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
 - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
 - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
 - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
 - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin µSOP, and 3-Pin TO-92 Packages

Pin Configurations



Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

DS18B20

Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground-0.5V to +6.0V
Operating Temperature Range..... -55°C to +125°C

Storage Temperature Range -55°C to +125°C
Solder Temperature.....Refer to the IPC/JEDEC
J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V _{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V _{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V _{DD}	
Thermometer Error	t _{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V _{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V _{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or V _{DD} + 0.3	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I _L	V _{I/O} = 0.4V	4.0			mA
Standby Current	I _{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I _{DD}	V _{DD} = 5V (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I _{DQ}	(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU}. In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}.

Note 3: See typical performance curve in Figure 1. Thermometer Error limits are 3-sigma values.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DDs}, DQ should be within the following ranges: GND ≤ DQ ≤ GND + 0.3V or V_{DD} - 0.3V ≤ DQ ≤ V_{DD}.

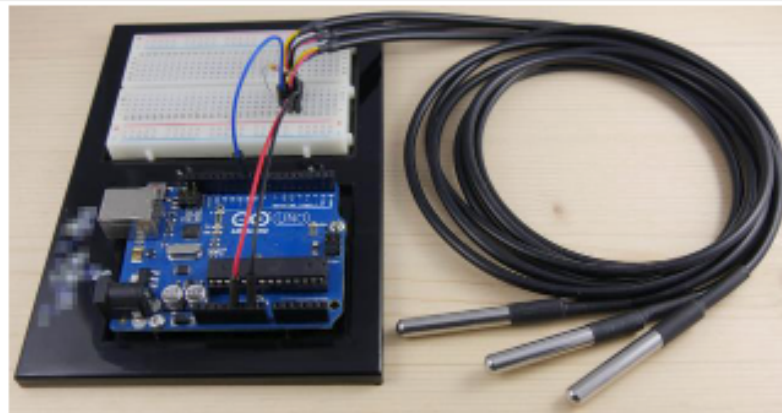
Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with V_{DD} = 5.5V.

Le montage

Le montage du capteur avec une carte Arduino est relativement simple à mettre en oeuvre.



Le montage

Pour réaliser ce montage, il va nous falloir :

- Une carte Arduino UNO (et son câble USB),
- Une résistance de 4.7K ohms, code couleur jaune – violet – rouge,
- Un ou plusieurs capteurs DS18B20,
- Une plaque d'essai et des fils pour câbler notre montage.

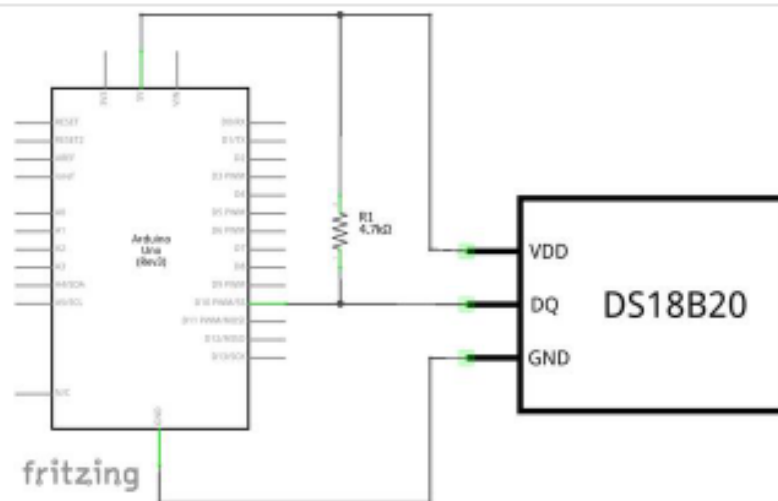


Schéma du montage



The Grove - Gas Sensor(MQ2) module is useful for gas leakage detection (home and industry). It is suitable for detecting H₂, LPG, CH₄, CO, Alcohol, Smoke or Propane. Due to its high sensitivity and fast response time, measurement can be taken as soon as possible. The sensitivity of the sensor can be adjusted by potentiometer.



CARACTÉRISTIQUES

AC/DC	DC
Type	synchrone
Voltage	5V
Autres caractéristiques	réversible
Puissance	5 W (0,007 hp)

INTRODUCTION

Vous pouvez consulter la dernière version - Gravity: Kit de capteur / mètre de pH analogique V2 pour répondre à vos besoins et Guide de sélection de capteur de liquide pour mieux vous familiariser avec notre série de capteurs de liquide.

Vous avez besoin de mesurer la qualité de l'eau et d'autres paramètres, mais vous n'avez pas de pH-mètre bon marché? Vous trouvez difficile à utiliser avec Arduino? PH-mètre analogique DFRobot, spécialement conçu pour les contrôleurs [Arduino](#) et dispose d'un connecteur « Gravity » pratique et pratique et de nombreuses fonctionnalités. Connexion instantanée à votre sonde votre Arduino pour obtenir des mesures de pH à $\pm 0,1\text{pH}$ (25 °C). Pour les plus amateurs, cette grande plage de précision et son faible coût en font un excellent outil pour la biorobotique et autres projets! Il a une LED qui fonctionne comme indicateur d'alimentation, un connecteur BNC et une interface de capteur PH2.0. Pour l'utiliser, connectez simplement le capteur de pH au connecteur BND et branchez l'interface PH2.0 dans le port d'entrée analogique de n'importe quel [contrôleur Arduino](#). S'il est préprogrammé, vous obtiendrez facilement la valeur du pH. Livré dans une boîte en plastique compacte avec des mousses pour un meilleur stockage mobile.

Construisez votre propre gadget pH-mètre ou une station de surveillance de l'eau pour vos réservoirs d'eau. Ceci et nos autres [capteurs d'eau](#) pourraient constituer le dispositif de contrôle de l'eau ultime. Utilisez-le pour vos aquaponiques ou aquariums ou autres matériaux nécessitant des mesures.

Il s'agit d'une sonde de laboratoire, elle ne peut pas être immergée dans le liquide pendant trop longtemps. Vous pouvez consulter ici l'ensemble du [kit de capteur / compteur de pH analogique Pro pour Arduino](#) ou une [sonde industrielle de rechange](#) en remplacement



Caractéristiques

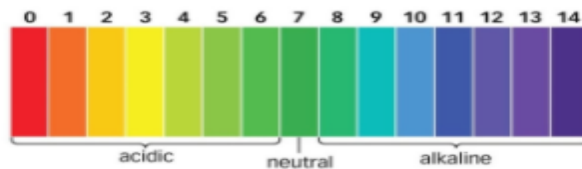
Articles	Valeurs
Tension de fonctionnement	3,3 V / 5 V
Intervalle	0-14PH
Résolution	$\pm 0,15\text{PH}$ (STP)
Temps de réponse	< 1 min
Interface de sonde	BNC
Mesurer la température	0 à 60 °C
Résistance interne	$\leq 250\text{M}\Omega$ (25 °C)
Erreur alcaline	0,2PH (1mol/L) Na ⁺ , PH14) (25 °C)

Vous voulez mesurer le degré d'acide / basique de votre eau avec l'Arduino? Avec ce guide, vous découvrirez notre nouveau [kit de capteur Grove - PH](#) pour y parvenir facilement. Ce tutoriel Arduino couvrira:

- Qu'est-ce que le pH?
- Le pH est-il important?
- À propos du Grove - Kit de capteur de pH
- Applications du kit de capteur Grove -pH
- Capteurs associés

Qu'est-ce que le pH?

Fondamentalement, le pH est une mesure de l'acidité ou de la base d'un liquide dans la plage de 0 à 14. La mesure inférieure à 7 indique que le liquide est acide, 7 étant neutre tandis qu'une mesure supérieure à 7 indique que le liquide est une base .



Réf: [Jansanconsulting](#)

Chaque nombre représente un changement 10 fois de l'acidité ou de la basicité de l'eau. Par exemple, le liquide qui a un pH de 5 est 10 fois plus acide que le liquide avec un pH de 6.

Les mesures de pH sont effectuées en mesurant la quantité relative d'hydrogène libre et d'ions hydroxyle dans le liquide.

- Si un liquide contient plus d'ions hydrogène libres = acide
- Si un liquide contient plus d'ions hydroxyle libres = Base

Le pH est-il important?

Oui, en connaissant le niveau de pH de votre liquide, vous pouvez obtenir diverses informations importantes à son sujet.

En connaissant le pH de votre liquide, vous pouvez vous renseigner sur sa solubilité et la disponibilité biologique (la quantité qui peut être utilisée par la vie aquatique) des composants chimiques de votre eau tels que les nutriments comme le phosphore, l'azote et aussi les métaux lourds. Si vous avez un aquarium, le niveau de pH de votre eau est important car lorsque votre eau a un niveau de pH trop bas ou trop élevé, cela peut être nocif pour vos poissons et toute autre vie aquatique.

Par exemple, à faible pH, des métaux toxiques tels que l'aluminium peuvent pénétrer dans l'eau en forte concentration et certains produits chimiques azotés deviennent plus toxiques, ce qui rend les processus métaboliques des poissons moins efficaces, ce qui peut inhiber la reproduction et même entraîner la mort. À des niveaux de pH élevés, l'ammonium dans votre liquide est converti en ammoniac, qui est également toxique pour les poissons, entraînant la mort.

Les niveaux de pH dans votre eau potable sont importants, de même que l'eau potable à pH faible peut entraîner la dégradation de vos tuyaux et provoquer la pénétration de métaux toxiques tels que le cuivre et le plomb dans votre approvisionnement en eau. Des niveaux de pH élevés dans votre eau potable peuvent également entraîner un goût désagréable.

À propos du Grove - Kit de capteur de pH



Vous recherchez un pH-mètre à faible coût? Ou celui que vous pouvez utiliser facilement avec votre Arduino et le Raspberry Pi? Avec ce kit de capteur de pH Grove à faible coût, vous pouvez facilement connecter un pH-mètre et commencer à mesurer le pH dans votre eau! En mesurant l'activité des ions hydrogène dans les solutions à base d'eau, ce capteur obtient une lecture de pH.

Pour les fabricants et les amateurs cherchant à créer un projet concernant le pH, ce kit de capteur sera parfait pour vous avec sa large plage de précision. Mieux encore, ce capteur est beaucoup moins cher que les autres pH-mètres à seulement **15,90 \$!**

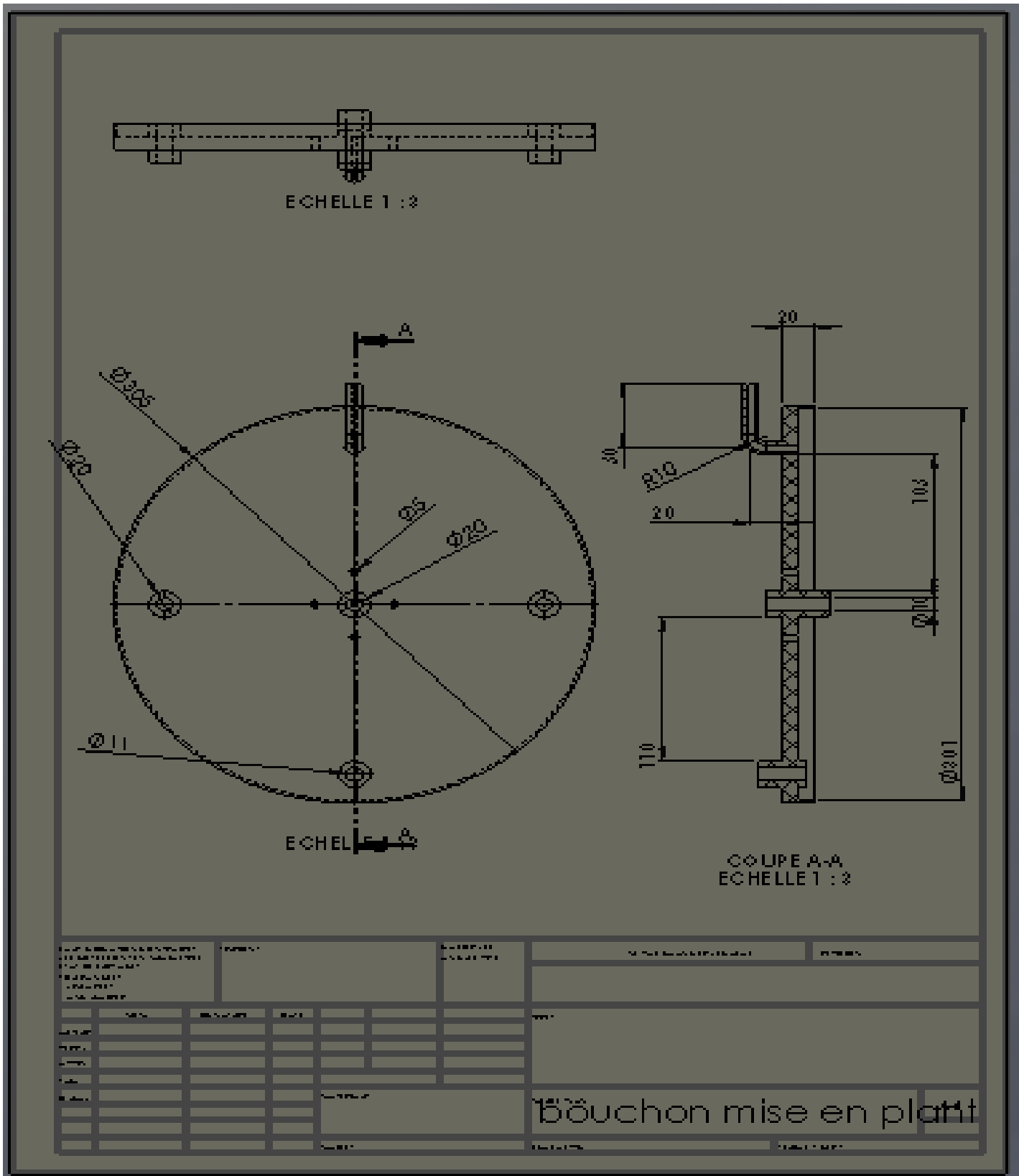


Figure 27 : mise en plan du couvercle

Echelle 1 : 2

